



TESIS- MN142532

**PENGEMBANGAN DAN UJI DINAMIS *SANDWICH*
PANEL BERBAHAN *CORE* MATERIAL LIMBAH
CANGKANG KERANG PADA KONSTRUKSI KAPAL**

KHARIS ABDULLAH
04111650030010

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
NIP. 19590505 198403 1 012

Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D
NIP. 19620328 198803 1 001

PROGRAM MAGISTER
TEKNIK PRODUKSI DAN MATERIAL KELAUTAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TESIS - MN142532

PENGEMBANGAN DAN UJI DINAMIS *SANDWICH* *PANEL* BERBAHAN *CORE* MATERIAL LIMBAH CANGKANG KERANG PADA KONSTRUKSI KAPAL

KHARIS ABDULLAH
04111650030010

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
NIP. 19590505 198403 1 012

Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D
NIP. 19620328 198803 1 001

PROGRAM MAGISTER
TEKNIK PRODUKSI DAN MATERIAL KELAUTAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



THESIS - MN142532

DEVELOPMENT AND DYNAMIC TEST OF SANDWICH PANEL WITH CORE FROM WASTE CLAMSHELL FOR SHIP STRUCTURE

KHARIS ABDULLAH
04111650030010

SUPERVISOR

Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D

MAGISTER PROGRAM
MARINE PRODUCTION AND MATERIAL ENGINEERING
DEPARTEMEN OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :

KHARIS ABDULLAH

NRP 04111650030010

Tanggal Ujian : 20 Juli 2018

Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh :

1. **Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.**
NIP. 19590505 198403 1 012

2. **Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D.**
NIP. 19620328 198803 1 001

3. **Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.**
NIP. 19670406 199203 1 001

4. **Aries Sulisetyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D.**
NIP. 19710320 199512 1 002

5. **Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.**
NIP. 19691231 200604 1 78

Pelaksana Tugas Dekan Fakultas Teknologi Kelautan,



Prof. Ir. Arif Djunaidy, M.Sc., Ph.D.

NIP.19581005 198603 1 003

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“PENGEMBANGAN DAN UJI DINAMIS SANDWICH PANEL BERBAHAN CORE MATERIAL LIMBAH CANGKANG KERANG PADA KONSTRUKSI KAPAL”**. Adapun maksud penulisan tesis ini yaitu sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik di Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama pelaksanaan penelitian dan penulisan tesis ini banyak pihak yang telah membantu dan mendukung, karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D dan Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng.,Ph.D sebagai pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama proses penelitian.
2. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc.,Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan sebagai pimpinan instansi penulis menimba ilmu dan menempuh studi Magister.
3. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Eng., Ph.D, Aries Sulisetyono, ST., MASc., Ph.D., dan Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc selaku penguji sidang tesis yang telah memberikan penilaian dan masukan untuk kesempurnaan penelitian.
4. Seluruh Dosen Program Pasca Sarjana Teknik Perkapalan yang telah membimbing penulis hingga mampu menempuh pendidikan Magister.
5. Ibu, Ayah, Kakak dan Adik yang telah memberikan dukungan, kasih sayang dan doa yang tak ternilai harganya, selama penulis menimba ilmu.
6. Tim peneliti *sandwich panel*, Yudiono, Id Adha, Sidhik Purwoko yang telah memberikan semangat, masukan dan doa kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian.
7. Rekan-rekan Pasca Sarjana Teknik Perkapalan dan Transportasi 2016, yang telah bersama-sama dalam suka duka menuntut ilmu bersama-sama dengan penulis.
8. Ibu Minat Ariani SE, yang selalu mendukung dan mendoakan penulis.

9. Letkol Laut (KH) Drs. Imbalo P. Tambunan, Mayor Laut (T) Pompy Pratisna, ST., MT dan seluruh staf Laboratorium Industri Kimia dan Material, KOARMATIM TNI AL Surabaya, yang telah mendukung pengujian laboratorium penelitian ini.
10. Bapak, Ibu dan Saudara seperjuangan di masjid Baitul Haq.

Penulis menyadari bahwa penelitian tesis ini masih memiliki banyak kelemahan dan kekurangan, oleh karena itu sangat diharapkan saran yang membangun agar penelitian ini lebih dapat disempurnakan.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

PENGEMBANGAN DAN UJI DINAMIS SANDWICH PANEL BERBAHAN CORE MATERIAL LIMBAH CANGKANG KERANG PADA KONSTRUKSI KAPAL

Nama Mahasiswa : Kharis Abdullah
NRP : 04111650030010
Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
Dosen Pembimbing II : Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D

ABSTRAK

Perkembangan teknologi di bidang perkapalan saat ini semakin maju, sehingga banyak inovasi yang dikembangkan. Salah satunya adalah inovasi dalam konstruksi struktur kapal yaitu *sandwich panel*. *Sandwich panel* merupakan material komposit yang terdiri dari dua jenis material berbeda yang dibentuk menjadi sebuah lapisan. Dengan berkembangnya isu lingkungan saat ini, banyak dilakukan pengembangan dan inovasi pemanfaatan material limbah untuk digunakan kembali sebagai salah satu alternatif bahan baku.

Pada penelitian ini dilakukan pengembangan serta uji dinamis untuk mengetahui karakteristik dan redaman yang terjadi pada *sandwich panel* dengan inti atau *core* campuran antara *unsaturated polyester resin* dengan material limbah serbuk cangkang kerang sebagai *filler* untuk konstruksi kapal. Penelitian ini dilakukan dengan perbandingan komposisi 0%, 10%, 20%, 30%, 35% dan 40% antara serbuk cangkang kerang dengan resin. Identifikasi *core* dilakukan dengan metode eksperimen yang meliputi pengujian densitas, kekuatan tarik, kekerasan dan kekuatan tekan material untuk mendapatkan nilai persyaratan yang diberikan oleh LR. Investigasi dilakukan juga pada material *sandwich panel* dengan uji lentur dan uji dinamis yaitu dengan metode uji getaran. Analisa dengan *finite element modeling* dilakukan untuk validasi uji getaran dan kekuatan material *sandwich panel*.

Berdasarkan hasil penelitian, penambahan komposisi serbuk cangkang kerang sebagai *filler* pada *core* meningkatkan nilai *mechanical properties*. *Core* dengan persentase berat serbuk cangkang kerang 20% dan 30% memiliki nilai *mechanical properties* tertinggi dan memenuhi syarat minimum dari LR. Hasil dari pengujian dinamis pada *sandwich* kondisi utuh dan cacat menghasilkan frekuensi pribadi pada *sandwich* kondisi utuh dengan persentase serbuk 20% sebesar 536.4 Hz dan pada persentase 30% sebesar 545.1 Hz, dan pada kondisi cacat menghasilkan frekuensi pribadi sebesar 365.71 Hz pada persentase 20% dan 371.62 Hz pada persentase 30%. Analisa aplikasi *sandwich panel* pada konstruksi sisi kapal dalam satu panel menghasilkan perubahan berat konstruksi sebesar -5 % .

Kata kunci : Struktur Kapal, *Sandwich Panel*, Material Limbah, Cangkang Kerang, Getaran.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DEVELOPMENT AND DYNAMIC TEST OF SANDWICH PANEL WITH CORE FROM WASTE CLAMSHELL FOR SHIP STRUCTURE

Student Name : Kharis Abdullah
NRP : 04111650030010
Supervisor : Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
Co Supervisor : Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D

ABSTRACT

Developments in ship technology is now more advanced. There are many innovations have been invented. One of these innovations in ship structure construction is sandwich material. Sandwich material is composite material consisting of two different types of materials formed into a layer. As environmental issues raise nowadays, many innovators are interested in utilizing waste materials as one of alternative raw materials.

In this research, the development and testing was performed on sandwich panel with core made from the mixture of unsaturated polyester resin and clamshells powder as filler for ship construction application. Clamshells are waste material that are abundant in Indonesia. The cores were composed of resin and 0%, 10%, 20%, 30%, 35%, and 40% clamshell powder by weight. The core identification was done by experiments that included density, tensile strength, hardness, and compressive strength to evaluate whether the core materials met LR standard. Sandwich panel materials were also tested under bending loads. Moreover, to obtain their dynamic properties vibration tests were performed. Finite element analyses were performed on the sandwich panel materials for validation of vibration tests.

Results of this research showed that the addition of clamshells powder as filler on core material could increase their mechanical properties. Cores with 20% and 30% clamshell powder were ranked the first and second highest in mechanical properties values; both met the minimum requirement of LR. The results of the dynamic tests on the sandwich structures in intact and defect conditions showed that in intact condition the natural frequency of the structure with core made of 20% powder was 536.4 Hz and the frequency of the structure with core made of 30% powder was 545.1 Hz. Whereas in the defect condition the natural frequency of the structure with cores made of 20% and 30% powder were 365.71 Hz and 371.62 Hz respectively. Application of the sandwich material on a panel of ship structure showed that it could reduce the structure weight by 5%.

Keywords: Ship structure, Sandwich Panel, Waste Material, Clamshells, Vibration properties.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Hipotesa.....	3
1.6 Batasan Masalah.....	3
BAB II	5
KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 <i>Sandwich Strucuture</i>	5
2.1.1 <i>Sandwich Plate System (SPS)</i>	6
2.1.2 Keuntungan Penggunaan Struktur <i>Sandwich</i>	7
2.2 Aplikasi <i>Sandwich Panel</i> pada Konstruksi Kapal	8
2.3 Kerang Darah	9
2.4 Komposisi Material Inti (<i>Core</i>) <i>Sandwich Panel</i>	11
2.5 Standardisasi Pengujian Material	14
2.6.1 Pengujian Massa Jenis (<i>Density</i>) pada <i>Core Material</i>	15
2.6.2 Pengujian Tarik.....	15
2.6.3 Pengujian Kekerasan (<i>Hardness</i>).....	18

2.6.4	Pengujian Tekan (<i>Compressive Test</i>)	20
2.6.5	Pengujian Lentur (<i>Flexural Test</i>)	21
2.6	Penentuan Ketebalan <i>Sandwich Panel</i>	24
2.7	<i>Finite Element Method</i>	27
2.8	Karakteristik Dinamik.....	34
2.7.1	Getaran.....	34
2.7.2	<i>Modal Analysis</i>	38
2.7.3	<i>Modal Analysis Experiment</i>	39
2.7.4	<i>Fourier Transform</i>	41
BAB III	.....	43
METODOLOGI PENELITIAN	.....	43
3.1	Tahapan Penelitian.....	43
3.2	Studi Literatur	45
3.3	Pengumpulan Data Awal	45
3.4	Identifikasi <i>Core Material</i>	46
3.5	Pengujian Karakteristik <i>Core</i>	51
3.5.1	Pengujian Massa Jenis <i>Core</i>	51
3.5.2	Pengujian Kekuatan Tarik <i>Core</i>	52
3.5.3	Pengujian Kekerasan (<i>Hardness Test</i>).....	53
3.5.4	Pengujian Tekan (<i>Compressive Test</i>)	54
3.6	Pemilihan Jenis <i>Core Sandwich Panel</i>	55
3.7	Metode Pembuatan <i>Sandwich Panel</i>	55
3.7.1	Identifikasi Material <i>Top and Bottom Plate</i>	56
3.7.2	Persiapan Material <i>Top and Bottom Plate</i>	56
3.7.3	Persiapan Cetak <i>Sandwich Panel</i> , Pengecoran dan Kontrol Reaktivitas.....	57
3.7.4	Pembukaan Cetakan	60

3.8	Metode Identifikasi <i>Sandwich Panel</i>	61
3.8.1	Pengujian Massa Jenis <i>Sandwich Panel</i>	61
3.8.2	Pengujian Lentur (<i>Flexural Test</i>) <i>Sandwich Panel</i>	61
3.9	Pemodelan Getaran <i>Sandwich Panel</i>	62
3.10	Pengujian Getaran	63
3.10.1	Persiapan Pengujian	63
3.10.2	Pengujian Getaran <i>Sandwich Panel</i>	64
3.10.3	Pembuatan Cacat pada <i>Sandwich Panel</i>	66
3.10.4	Proses Pengolahan Data Uji Getaran	66
3.11	Perhitungan Berat Konstruksi dan Pemodelan.....	68
BAB IV	.....	73
ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN	.....	73
4.1	Analisa Hasil Identifikasi <i>Core Material</i>	73
4.1.1	Identifikasi <i>Core Material</i>	73
4.1.2	Identifikasi Massa Jenis <i>Core Material</i>	78
4.1.3	Pengujian Tarik <i>Core Material</i>	79
4.1.4	Pengujian Kekerasan (<i>Hardness Test</i>)	85
4.1.5	Pengujian Tekan (<i>Compressive Test</i>).....	86
4.1.6	Analisa Hasil Pengujian <i>Core</i>	87
4.2	Analisa Hasil Identifikasi Material <i>Sandwich Panel</i>	88
4.2.1	Densitas <i>Sandwich Panel</i>	88
4.2.2	Pengujian Lentur (<i>Flexural Test</i>) <i>Sandwich Panel</i>	89
4.2.3	Hasil Identifikasi Material <i>Sandwich Panel</i>	92
4.3	Identifikasi Respon Getaran <i>Sandwich Panel</i>	92
4.3.1	Pemodelan <i>Sandwich Panel</i>	92
4.3.2	Nilai Koherensi <i>Sandwich Panel</i> Utuh	95

4.3.3	Perbandingan Hasil Analisis Numerik dan Eksperimen <i>Sandwich Panel</i> Kondisi Utuh.....	96
4.3.4	Perbandingan Hasil Analisis Numerik dan Eksperimen <i>Sandwich Panel</i> Kondisi Cacat.....	97
4.3.5	Hasil dan Analisa <i>Damping Ratio Sandwich Panel</i>	99
4.4	Pemodelan Struktur <i>Sandwich Panel</i> dan Berat Konstruksi.....	100
BAB V		109
KESIMPULAN DAN SARAN.....		109
5.1	Kesimpulan.....	109
5.2	Saran	110
DAFTAR PUSTAKA		111
LAMPIRAN		115

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 <i>Sandwich panel</i> dengan inti resin (Utomo,2017).....	1
Gambar 2. 1 Beberapa contoh konfigurasi <i>sandwich</i> (Zenkert,1995)	6
Gambar 2. 2 Contoh <i>sandwich plate system</i>	6
Gambar 2. 3 Ilustrasi <i>sandwich effect</i> (Hexcel Composites,2000)	8
Gambar 2. 4 Kerang darah	10
Gambar 2. 5 Bahan baku pembuatan material inti <i>sandwich panel</i>	11
Gambar 2. 6 Unsaturated Polyester Resin	12
Gambar 2. 7 a. Cangkang kerang, b. Serbuk cangkang kerang	12
Gambar 2. 8 Katalis atau <i>Methyl Ethyl Ketone Peroxide (MEKP)</i>	13
Gambar 2. 9 Uji tarik dan hasil grafik	16
Gambar 2. 10 Bentuk spesimen uji tarik (<i>ASTM D638</i>)	16
Gambar 2. 11 Tipe spesimen menurut <i>ASTM D638</i>	17
Gambar 2. 12 Bentuk identer pada Shore D	19
Gambar 2. 13 <i>Compression tool</i>	20
Gambar 2. 14 Bentuk pengujian lentur	22
Gambar 2. 15 Titik pembebanan tunggal dan titik pembebanan ganda.....	22
Gambar 2. 16 Definisi ketebalan <i>sandwich plate</i>	24
Gambar 2. 17 Skema penentuan tebal <i>sandwich panel</i>	25
Gambar 2. 18 Beberapa jenis elemen.....	30
Gambar 2. 19 Ukuran linier elemen dan fungsi interpolasi	31
Gambar 2. 20 Perbandingan solusi eksak dengan elemen hingga	32
Gambar 2. 21 Contoh konvergensi hasil <i>displacement</i>	33
Gambar 2. 22 Kriteria <i>Von Mises</i> dengan 6 komponen tegangan.....	34
Gambar 2. 23 Getaran sistem massa-pegas.....	35
Gambar 2. 24 Penentuan rasio redaman	38
Gambar 2. 25 Ilustrasi <i>mode shape</i>	39
Gambar 2. 26 <i>Experimental Modal Analysis</i>	40
Gambar 3. 1 Bagan alir rencana penelitian	45
Gambar 3. 2 Rencana umum kapal container	46
Gambar 3. 3 Pengeringan dengan menggunakan oven	47

Gambar 3. 4 Penimbangan setelah pengeringan.....	47
Gambar 3. 5 Proses pengayakan dengan berbagai ukuran mesh.....	48
Gambar 3. 6 Ilustrasi penimbangan resin dan serbuk cangkang kerang	49
Gambar 3. 7 Proses pengadukan material inti	50
Gambar 3. 8 Proses penuangan dan pencetakan.....	51
Gambar 3. 9 Pengujian massa jenis <i>core</i>	51
Gambar 3. 10 Proses pencetakan spesimen uji tarik	52
Gambar 3. 11 Pengujian tarik <i>core material</i>	53
Gambar 3. 12 Pengujian kekerasan dengan Durometer Shore D	54
Gambar 3. 13 Mesin uji <i>compressive test</i>	54
Gambar 3. 14 Skema metode pembuatan <i>sandwich panel</i>	55
Gambar 3. 15 <i>Plate</i> yang telah dilakukan <i>brushing</i>	57
Gambar 3. 16 Bahan untuk pembuatan <i>core</i>	57
Gambar 3. 17 Poses penimbangan dan pengadukan campuran.....	58
Gambar 3. 18 Persiapan pencetakan.....	59
Gambar 3. 19 Lem epoxy	59
Gambar 3. 20 Pengecoran <i>core</i> pada pelat	60
Gambar 3. 21 <i>Sandwich</i> yang telah dilakukan pelepasan kertas	60
Gambar 3. 22 Pengujian densitas material <i>sandwich panel</i>	61
Gambar 3. 23 Pengujian lentur pada material <i>sandwich panel</i>	62
Gambar 3. 24 Pemodelan <i>sandwich panel</i> pada <i>software</i>	63
Gambar 3. 25 Model elemen pada <i>software</i>	63
Gambar 3. 26 Proses uji getaran.....	64
Gambar 3. 27 Skema pengujian getaran.....	65
Gambar 3. 28 Ilustrasi pengambilan data	65
Gambar 3. 29 Proses pembuatan cacat pada <i>sandwich panel</i>	66
Gambar 3. 30 <i>Midship section</i> kapal kontainer	68
Gambar 3. 31 Geometri elemen Beam 189	69
Gambar 3. 32 Geometri elemen Shell 181	70
Gambar 3. 33 Geometri elemen Solid 187	71
Gambar 4. 1 Berat setelah pengeringan.....	74
Gambar 4. 2 Partikel yang tertinggal dalam ayakan.....	74
Gambar 4. 3 Grafik persentase <i>passing</i> partikel serbuk cangkang kerang.....	75

Gambar 4. 4 Spektrum hasil pengujian XRF	76
Gambar 4. 5 Nilai densitas <i>core sandwich panel</i>	78
Gambar 4. 6 Spesimen uji tarik patah pada posisi penjepit	80
Gambar 4. 7 Ujung spesimen yang dibungkus kertas gosok	81
Gambar 4. 8 Bentuk patahan spesimen uji tarik	81
Gambar 4. 9 <i>Tensile strenght of core sandwich panel</i>	82
Gambar 4. 10 Grafik <i>stress-strain core</i>	83
Gambar 4. 11 Nilai modulus elastisitas masing persentase	84
Gambar 4. 12 <i>Elongation at break</i>	84
Gambar 4. 13 Hasil pengujian kekerasan	86
Gambar 4. 14 Kondisi spesimen setelah dilakukan pengujian	87
Gambar 4. 15 Dimensi <i>sandwich</i> sesuai perhitungan LR	88
Gambar 4. 16 Hasil uji lentur pada spesimen <i>sandwich</i>	90
Gambar 4. 17 Grafik pengujian lentur stress-displamen	91
Gambar 4. 18 Pemodelan spesimen uji getaran pada <i>software</i>	93
Gambar 4. 19 Kondisi batas pada model	93
Gambar 4. 20 Spesimen kondisi utuh	93
Gambar 4. 21 Spesimen kondisi rusak	94
Gambar 4. 22 Hasil pengujian getaran kondisi utuh	97
Gambar 4. 23 Hasil pengujian getaran kondisi cacat	98
Gambar 4. 24 <i>Midship section</i> kapal container	100
Gambar 4. 25 <i>Finish plant</i> kapal kontainer	100
Gambar 4. 26 Konstruksi antara frame 41-45	101
Gambar 4. 27 Dimensi panel yang dianalisa	101
Gambar 4. 28 Konstruksi yang telah di- <i>meshing</i>	102
Gambar 4. 29 Tekanan air yang diaplikasikan ke model	103
Gambar 4. 30 Deformasi pada struktur	103

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kandungan senyawa cangkang kerang darah	10
Tabel 2. 2 Standardisasi pengujian dan kriteria <i>sandwich panel</i>	14
Tabel 2. 3 Dimensi spesimen tipe 4 ASTM D638	17
Tabel 2. 4 Dimensi identer Shore D.....	19
Tabel 2. 5 Ketebalan minimum pelat	25
Tabel 2. 6 <i>Thickness allowance</i>	26
Tabel 2. 7 Nilai numerik β_{nl2} untuk keadaan ujung tertentu (Thomson, 1980)..	37
Tabel 2. 8 Ukuran utama kapal kontainer	46
Tabel 4. 1 Persentase partikel sisa setelah pengayakan.....	75
Tabel 4. 2 Komposisi kimia serbuk cangkang erang	77
Tabel 4. 3 Perbandingan berat resin dan serbuk cangkang kerang	77
Tabel 4. 4 Rekapitulasi hasil pengujian tarik.....	85
Tabel 4. 5 Hasil pengujian tekan material inti	86
Tabel 4. 6 Hasil massa jenis <i>sandwich panel</i>	89
Tabel 4. 7 Hasil pengujian lentur <i>sandwich</i>	90
Tabel 4. 8 Nilai <i>core shear modulus</i>	91
Tabel 4. 9 Konvergensi ukuran mesh	94
Tabel 4. 10 Hasil uji numerik <i>sandwich</i>	95
Tabel 4. 11 Perbandingan numerik dan eksperimen pada <i>sandwich</i> kondisi utuh .	97
Tabel 4. 12 Perbandingan numerik dan eksperimen pada <i>sandwich</i> kondisi cacat	98
Tabel 4. 13 Hasil damping ratio.....	99
Tabel 4. 14 Hasil <i>von mises stress</i> konstruksi konvensional- <i>sandwich</i>	104
Tabel 4. 15 Perbandingan berat pelat konvensional dan <i>sandwich</i>	105
Tabel 4. 16 Sistem konstruksi redesain.....	106
Tabel 4. 17 Rekapitulasi berat hasil redesain konstruksi	106
Tabel 4. 18 Hasil <i>von mises stress</i> model	107

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

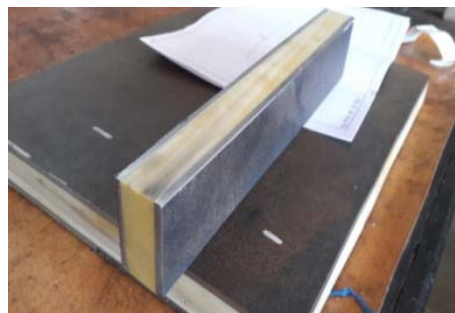
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Perkembangan teknologi di bidang perkapalan semakin maju seiring dengan perkembangan zaman yang ada, sehingga banyak inovasi-inovasi yang dikembangkan dan ditemukan. Salah satu inovasi yang ada adalah dalam bidang konstruksi struktur kapal, terutama pada pengembangan material untuk konstruksi struktur kapal. Dengan teknologi maju yang ada, diharapkan dapat memperoleh suatu material yang lebih ringan, kuat, dan tahan lama. Pada umumnya untuk konstruksi dan struktur kapal menggunakan material baja, seiring perkembangannya telah ditemukan inovasi berupa *sandwich panel* yang diharapkan dapat menjadi salah satu alternatif pengganti material baja sebagai konstruksi struktur kapal.

Di dalam penelitian yang dilakukan oleh Ramakrishnan & Kumar (2016) diketahui bahwa penggunaan *sandwich panel* memiliki beberapa keuntungan yaitu berat pada konstruksi menggunakan *sandwich panel* lebih ringan daripada penggunaan konstruksi konvensional, dimana pengurangan beratnya mencapai lebih dari 10%, keuntungan yang lain adalah desain konstruksi yang lebih baik, proses fabrikasi yang mudah dan lain-lain. Momcilovic & Motok (2009) telah melakukan penelitian dimana pengurangan berat dengan menggunakan *sandwich panel* sebesar 15%. Dapat dilihat pada Gambar 1. 1 *sandwich panel* yang terbuat dengan inti atau *core* dari resin.



Gambar 1. 1 *Sandwich panel* dengan inti resin (Utomo,2017)

Isu lingkungan yang sedang berkembang saat ini, menuntut para peneliti untuk mengembangkan material yang berasal dari bahan yang tidak digunakan lagi atau material limbah atau *green material* yang terdapat melimpah di lingkungan dan dapat terbarukan. Material limbah tersebut seperti cangkang kerang, cangkang telur, sekam, serbuk kayu, dan lain-lain. Selain pemanfaatan material limbah berkaitan dengan isu lingkungan, penggunaan kembali material limbah juga untuk meningkatkan nilai dari material limbah tersebut. Salah satu pemanfaatannya yaitu sebagai salah satu bahan campuran untuk material *core* pada *sandwich panel*.

Di dalam konstruksi kapal, terdapat beban yang dapat menyebabkan kegagalan dalam konstruksi tersebut. Pada umumnya beban tersebut adalah beban dari muatan, beban dari air laut, angin dan lain-lain. Penggunaan material yang kuat dapat meminimalisir kegagalan yang ada. Beban dinamis atau beban yang berulang-ulang dapat menyebabkan material menjadi *fatigue* yang akhirnya membuat konstruksi akan rusak. Begitu pula pada saat *sandwich panel* diaplikasikan pada konstruksi struktur kapal, *sandwich panel* akan menerima beban yang ada termasuk beban dinamis. Oleh karena itu pada perlunya analisis karakteristik dan dinamis pada *sandwich panel* sehingga bisa diketahui *life time* dari *sandwich panel*.

Selanjutnya akan dilakukan sebuah penelitian untuk mengidentifikasi dan analisis penggunaan material limbah yaitu cangkang kerang sebagai campuran *core* pada material *sandwich panel* sebagai salah satu jenis material maju dalam industri perkapalan termasuk pengujian karakteristik yang ada baik karakteristik statis maupun dinamis.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, pokok permasalahan dari penelitian ini perlunya dikembangkan material baru dengan menggunakan material limbah sebagai bahan campuran *core* dari *sandwich panel*. Adapun masalah yang ada dalam penelitian ini adalah :

1. Apakah penggunaan material cangkang kerang sebagai inti (*core*) menghasilkan *sandwich panel* yang memenuhi kriteria peraturan yang ada?
2. Berapa persen campuran material cangkang kerang yang menghasilkan *sandwich panel* terbaik?

3. Bagaimana frekuensi natural dan redaman yang terjadi pada *sandwich panel* yang berbahan inti cangkang kerang?
4. Bagaimana pengaruh penggunaan material *sandwich panel* berbahan material limbah cangkang kerang terhadap berat konstruksi kapal?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui apakah *sandwich panel* dengan inti cangkang kerang dapat memenuhi peraturan yang ada.
2. Mengetahui presentase campuran cangkang kerang yang menghasilkan *sandwich panel* terbaik.
3. Mengetahui frekuensi natural dan redaman yang terjadi pada *sandwich panel* yang berbahan inti cangkang kerang.
4. Mengetahui pengaruh penggunaan material *sandwich panel* berbahan material limbah cangkang kerang terhadap konstruksi kapal.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan khazanah ilmu pengetahuan dalam bidang material.
2. Sebagai referensi untuk pengembangan material maju.

1.5 Hipotesa

Penggunaan material *sandwich panel* dengan menggunakan *core* (inti) yang berasal dari material limbah cangkang kerang dapat diaplikasikan dalam konstruksi kapal dan dapat menggantikan *profile plate* dan memenuhi syarat, yang ditentukan oleh *class* sehingga mengurangi berat konstruksi kapal.

1.6 Batasan Masalah

Untuk mengefektifkan proses penelitian, maka diterapkan beberapa batasan-batasan masalah, yaitu sebagai berikut:

1. Aplikasi dalam penggunaan *sandwich panel* hanya pada pelat sisi konstruksi lambung kapal.

2. Pada penelitian ini konstruksi *sandwich panel* lambung kapal hanya diuji dengan pengujian lentur atau *flexural test* dan tidak dilakukan pengujian *buckling*.
3. Jenis cangkang kerang yang dipakai adalah cangkang kerang darah (*Anadara granosa*).
4. Pada penelitian ini tidak dilakukan kajian secara ekonomis pada penggunaan material *sandwich panel* pada kapal.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 *Sandwich Structure*

Sandwich structure atau struktur *sandwich* adalah sebuah struktur yang terdiri dari dua jenis material yang berbeda membentuk suatu lapisan. Bahan *sandwich*, yang terdiri dari dua permukaan tipis yang dipisahkan oleh inti (*core*) dengan kepadatan rendah yang menghasilkan struktur yang ringan dan kaku. Pada saat ini, banyak material yang dapat digunakan untuk kulit dan inti dari *sandwich*. Material yang digunakan untuk lapisan kulit seperti terbuat dari polimer berserat (*fiber-reinforced polymer, FRP*) atau terbuat dari bahan metal seperti baja atau aluminium. Sedangkan bagian inti dapat terdiri atas bahan-bahan yang terbuat dari bahan metal seperti berbentuk sarang madu (*honeycomb core*), gelombang/lipatan (*corrugated core*), rangka batang (*truss core*), *C core*, *Z core*, *I core*, bahan ringan seperti *foam*, atau bahan organik seperti kayu balsa dan material ringan lainnya, seperti terlihat pada Gambar 2. 1.

Di dalam industri kapal, ada beberapa struktur *sandwich* yang banyak dikembangkan yaitu:

1. *All-Metal*

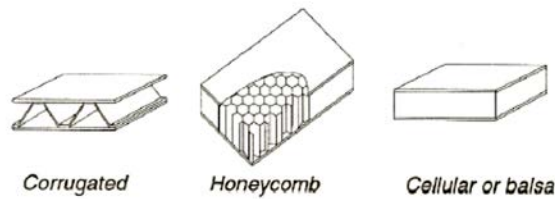
Pada jenis ini, kulit (*skin*) dan inti (*core*) terbuat dari bahan metal. Dimana terdapat konfigurasi penegar inti, seperti konfigurasi *honeycomb* dan lain-lain.

2. *Hybrid Metal*

Struktur *sandwich* jenis ini merupakan campuran antara bahan metal dan non metal. Kulit terbuat dari bahan metal dan inti terbuat dari bahan non metal seperti *elastomer, foam*, dll)

3. *Composite*

Pada struktur jenis ini, kulit terbuat dari fiber dan inti terbuat dari bahan *foam*, balsa dan lain-lain.



Gambar 2. 1 Beberapa contoh konfigurasi *sandwich* (Zenkert,1995)

2.1.1 *Sandwich Plate System (SPS)*

Sandwich plate system (SPS) merupakan salah satu bagian dari jenis *hybrid metal*. Dimana struktur *sandwich* jenis ini merupakan campuran antara bahan metal dan non metal. Terdiri dari kulit yang terbuat dari pelat dan inti (*core*) terbuat dari elastomer, seperti terlihat pada Gambar 2. 2. *Sandwich* dengan model seperti ini, biasanya terbuat dari baja yang digabungkan sebagai batas luar dari material di kedua sisi dan kemudian disatukan oleh material *polyurethane* (Momcilovic & Motok, 2009).



Gambar 2. 2 Contoh *sandwich plate system*

Penggunaan bagian inti/tengah panel *sandwich* yang semakin bervariasi dari segi bentuk maupun jenis materialnya. Kemampuan menahan geser, tarik dan tekan material yang digunakan, akan berpengaruh besar pada kemampuannya menahan lentur dan perilaku lenturnya sendiri. Beban yang diterima akan ditransfer dari bagian kulit satu ke bagian kulit yang lainnya melalui transfer geser pada bagian intinya dan optimum, disamping akan membuat *sandwich panel* lebih ringan.

Pemilihan jenis material kulit dan material inti menjadi suatu kombinasi yang sangat menentukan pola transfer beban dan karakteristik mekanik dari panel *sandwich*. Utomo & Baidowi (2015) telah melakukan percobaan pembuatan *sandwich plate* dengan bahan baku multiplek panel dan *polyurethane foam*.

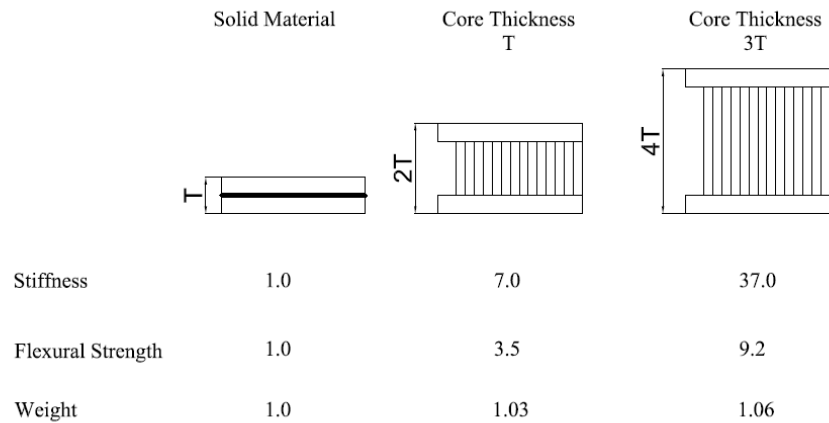
Untuk mengetahui kekuatan daripada material *sandwich* ini, telah dilakukan beberapa penelitian dan pengujian dari material *sandwich*, diantaranya :

1. Pengujian mekanis atau pengujian stairs yaitu dengan menggunakan tarik, tekan, geser, puntir, dan tekuk.
2. Pengujian ketahanan *fatigue* atau kelelahan pada ikatan antar bidang pelat dan sambungan las panel *sandwich*.
3. Ketahanan elastomer terhadap air laut dan bahan kimia selama proses pengoperasian material.
4. Ketahanan *sandwich panel* terhadap getaran dan peredaman kebisingan, dimana *sandwich panel* menghasilkan ketahanan yang lebih baik.
5. Ketahanan terhadap uji balistik dengan peluru 7.62 mm, menunjukkan bahwa ketahanan *sandwich* lebih tinggi dibandingkan dengan material baja.

2.1.2 Keuntungan Penggunaan Struktur *Sandwich*

Adapun keuntungan daripada pemakaian struktur *sandwich* dibandingkan dengan struktur biasa adalah:

1. Rasio kekakuan terhadap berat yang tinggi, membuatnya sesuai untuk desain ringan dan ketahanan tekuk yang baik dibandingkan dengan struktur pelat orthotropik tipis. Pemisahan dari kulit dengan inti menyebabkan meningkatnya moment luas kedua dari potongan melintang dari material yang mana hanya menyebabkan peningkatan yang sangat kecil pada berat, efek ini disebut “*sandwich effect*”, seperti terlihat pada Gambar 2. 3.



Gambar 2. 3 Ilustrasi *sandwich effect* (Hexcel Composites, 2000)

2. Dalam proses fabrikasi konstruksi *sandwich* lebih mudah dibandingkan konstruksi konvensional. Detail konstruksi *sandwich* lebih sedikit daripada konstruksi konvensional, pengurangan *intersection*, lebih sedikit pengelasan, berkurangnya penegar dan luas permukaan berkurang.
3. Desain *sandwich panel* akan menghapus sumber konsentrasi tegangan dan akan mengurangi efek dari inisiasi retak dan kelelahan, yang secara langsung berdampak pada biaya pemeliharaan.
4. Konstruksi dengan menggunakan *sandwich* memiliki berat yang lebih ringan daripada konstruksi konvensional. Pengurangan berat hingga lebih dari 15%.
5. Secara keseluruhan, membangun konstruksi dan operasional konstruksi yang menggunakan *sandwich panel* memiliki biaya yang lebih rendah daripada konstruksi konvensional. Struktur yang sederhana dan tidak terdapat banyak detail memudahkan untuk proses pembangunan.

2.2 Aplikasi *Sandwich Panel* pada Konstruksi Kapal

Penggunaan material *sandwich* di dalam konstruksi kapal sudah banyak dilakukan untuk konstruksi-konstruksi pelat datar, seperti geladak, lambung, *double bottom*, dan lain-lain. Baidowi dan utomo (2015) melakukan simulasi *finite*

element analysis pada penggunaan *sandwich plate system* (SPS) pada konstruksi *inner bottom* kapal *bulk carier* 11.000 DWT. Dihasilkan nilai tegangan maksimum pada baja AH36 sebesar 226 Mpa dan SPS sebesar 221 Mpa. Dengan hilangnya penegar pada konstruksi, menyebabkan pengurangan berat konstruksi sebesar 13,05% sehingga dapat memberikan peningkatan *payload*.

Penelitian yang dilakukan oleh Brooking dan Kennedy (2004) dengan menggunakan metode elemen hingga pada produksi kapal tanker 14000 DWT, menunjukkan nilai tegangan maksimum yang terjadi pada konstruksi yang menggunakan SPS memberikan nilai yang sangat kecil dari kriteria tegangan yang diizinkan. *Sandwich panel* dapat mereduksi berat konstruksi hingga 28% dan dapat mengurangi biaya sekitar 20% dibandingkan dengan konstruksi konvensional, Kujala dan Klanac (2005).

2.3 Kerang Darah

Kerang darah (*Anadara granosa*) adalah sejenis kerang yang biasa dimakan oleh warga Asia Timur dan Asia Tenggara, bentuk cangkang kerang yang oval, bergaris berwarna putih dan kuat dimiliki oleh kerang darah seperti terlihat pada Gambar 2. 4. Anggota suku *Arcidae* ini disebut kerang darah karena ia menghasilkan hemoglobin dalam cairan merah yang dihasilkannya. Budidaya kerang darah sudah dilakukan dan memiliki nilai ekonomi yang baik. Kerang ini menghuni kawasan Indo-Pasifik dan tersebar dari pantai Afrika timur sampai ke Polinesia. Hewan ini gemar memendam dirinya ke dalam pasir atau lumpur dan tinggal di mintakat pasang surut. Panjang dewasanya berukuran 5 sampai 6 cm dan lebar 4 sampai 5 cm. Produksi kerang darah cukup besar pada tahun 2010 mencapai 34.482 Ton dengan rata-rata peningkatan produksi tahun 2000-2010 sebesar 5,18% tiap tahun (Pemerintah RI, 2011).



Gambar 2. 4 Kerang darah

Limbah kerang darah banyak ditemukan di pesisir pantai-pantai di Indonesia, pemanfaatan limbah yang belum maksimal merupakan salah satu penyebab terjadinya polusi di sekitar pantai. Pemanfaatan cangkang kerang darah masih minim dilakukan, saat ini masih terbatas dalam penggunaan untuk pakan ternak. Kandungan terbesar dalam cangkang kerang darah adalah kalsium (Ca). Menurut Ginting dkk (2016) kandungan terbesar pada cangkang kerang darah adalah kalsium oksida yaitu 94.1%, seperti terlihat pada Tabel 2. 1.

Tabel 2. 1 Kandungan senyawa cangkang kerang darah

Senyawa	Kadar (%)	Senyawa	Kadar (%)
CaO	94.1	SO ₃	0.4
SiO ₂	1.00	SrO	0.3
Na ₂ O	1.00	MgO	0.3
TiO ₂	1.00	Al ₂ O ₃	0.2
Fe ₂ O ₃	0.4	-	-

Sumber : Ginting dkk (2016)

Pemaanfaatan cangkang kerang darah juga dilakukan dalam penelitian sebagai isian atau *filler* dalam sebuah matrix. Cangkang kerang darah yang diolah menjadi bubuk yang dijadikan sebagai *filler* dapat memperbaiki struktur dalam sebuah matrix. Menurut Mansuri dan Amalina (2014) penambahan serbuk

cangkang kerang sebagai *filler* pada matrix *unsaturated polyester resin* dapat meningkatkan nilai *mechanical properties*.

2.4 Komposisi Material Inti (Core) Sandwich Panel

Pembuatan material inti (*core*) pada *sandwich panel* yang akan dibuat memerlukan bahan baku seperti *unsaturated polyester resin*, serbuk cangkang kerang, katalis dan pigmen, seperti terlihat pada Gambar 2. 5 Semua bahan baku tersebut dicampurkan sehingga menjadi material inti untuk *sandwich panel*. Berikut ini adalah uraian untuk bahan baku dari pembuatan material inti.



Gambar 2. 5 Bahan baku pembuatan material inti *sandwich panel*

A. Resin

Tipe resin yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Unsaturated Polyester Resin* (UPR). UPR merupakan jenis polimer termoset, dimana UPR ini seperti yang kita ketahui terbuat dari reaksi polimerisasi antara asam dikarbosilat dengan glikol. Dimana polimer yang telah dilarutkan dalam monomer reaktif seperti styrene untuk menghasilkan cairan viskositas yang rendah, seperti terlihat pada Gambar 2. 6. Ketika sedang mengalami pengeringan, monomer bereaksi dengan salah satu ikatan yang tak jenuh pada polimer, dan tentunya juga mengalami perubahan yang menjadi struktur termoset padat. Seperti yang kita ketahui bahwa UPR atau *Unsaturated Polyester Resin* merupakan salah satu produk yang sering digunakan dalam industri komposit. Untuk banyak UPR yang digunakan yaitu sebesar 75% dari semua total jumlah resin yang digunakan.

Unsaturated Polyester Resin memiliki jenis tipe *Resin Ortho-phthalic Resin*, dimana jenis resin ini tahan terhadap air. Produk unggulan dari *Ortho-phthalic* ini juga memiliki beberapa jenis produk lagi, yaitu seperti YUKALAC 157 BQTN-EX. Tipe dengan jenis seperti ini sangat populer tentunya dalam bidang pembuatan kapal yang ada di Indonesia. Selain itu juga memiliki jenis bidang lainnya seperti tangki, alat saniter, ornamen, atau jenis – jenis bidang yang lainnya.



Gambar 2. 6 Unsaturated Polyester Resin

B. Serbuk Cangkang Kerang

Pada penelitian ini cangkang kerang dari jenis cangkang kerang darah, dimana cangkang kerang darah ini dilakukan perlakuan khusus yaitu dijadikan serbuk cangkang kerang. Serbuk cangkang kerang digunakan sebagai isian atau *filler* dalam marix atau resin, adapun bentuk cangkang kerang dan serbuk cangkang kerang darah seperti terlihat pada Gambar 2. 7.



b. Cangkang kerang

a. Serbuk cangkang kerang

Gambar 2. 7 a. Cangkang kerang, b. Serbuk cangkang kerang

C. Katalis

Katalis atau *Methyl Ethyl Ketone Peroxide (MEKP)*, seperti terlihat pada Gambar 2. 8, merupakan *hardener* atau pengeras resin yang dapat digunakan untuk :

- membuat tangki, kotak, atau kapal
- *coating* pada kayu lapis
- kancing
- pelapis permukaan pada besi atau *furniture*



Gambar 2. 8 Katalis atau *Methyl Ethyl Ketone Peroxide (MEKP)*

Sifat daripada katalis yaitu : cair, berwarna bening, baunya sangat menyengat, sering disebut juga *hardener*, berfungsi sebagai pengering saat dicampur resin. Tipe *catalyst* permek – N digunakan untuk resin bening sedangkan *catalyst* untuk resin pada umumnya. Adapun jenis-jenis katalis berdasarkan wujudnya, katalis dapat dibedakan menjadi katalis homogen dan katalis heterogen.

D. Pigmen/ Pewarna

Pigmen adalah pewarna resin berupa pasta. Penggunaannya harus dicampur dengan resin terlebih dahulu. Warna pigmen bermacam-macam tetapi untuk pembuatan *rockwork* sebaiknya digunakan warna dasar (hitam, putih, merah, biru dan kuning). Dengan pencampuran warna dasar ini bisa

menghasilkan variasi warna yang tidak terhingga. Pigment adalah zat pewarna saat bahan fiberglass dicampur. Pemilihan warna disesuaikan dengan selera pembuatnya. Pada umumnya pemilihan warna untuk mempermudah proses akhir saat pengecatan.

2.5 Standardisasi Pengujian Material

Lloyd's Register (2015) mengatur standardisasi pengujian material *sandwich panel*, baik untuk persyaratan *core material* hingga kriteria persyaratan *sandwich panel* yang digunakan. Standardisasi pengujian dan kriteria nilai hasil pengujian ditetapkan pada Tabel 2. 2.

Tabel 2. 2 Standardisasi pengujian dan kriteria *sandwich panel*

<i>Property</i>	<i>Test Standard</i>	<i>Acceptance Criteria</i>
<i>Density</i>	ISO 845	$\geq 1000 \text{ kg/m}^3$ at RT
<i>Hardness</i>	DIN 53505	Shore D ≥ 65 at RT
<i>Tensile Strength</i>	ASTM D638	$\geq 20 \text{ MPa}$ at RT
<i>Tensile Modulus</i>		$\geq 5 \text{ MPa}$ at $+80^\circ\text{C}$
<i>Elongation at break</i>		Min. 10% at -20°C Min. 20% at RT
<i>Shear Modulus</i>	ASTM C393	$G \geq 312-2,4T$ ($^\circ\text{C}$)
<i>Compressive strength</i>	ASTM D695	-
RT = Room temperature in $^\circ\text{C}$		

Sumber : Lloyd's Register (2015)

Tabel 2. 2 menunjukkan standardisasi material *sandwich panel* untuk dilakukan pengujian, maka pada penelitian ini akan melakukan pengujian untuk

berat jenis *core*, pengujian kekerasan, pengujian tarik pada *core*, dan pengujian tekan pada material inti. Kemudian pada material *sandwich panel* akan dilakukan pengujian densitas atau massa jenis dan pengujian lentur untuk mendapatkan kekuatan lentur.

2.6.1 Pengujian Massa Jenis (*Density*) pada *Core Material*

Pengujian densitas atau massa jenis dilakukan untuk menentukan kepadatan dari material *sandwich panel* yang dibuat berdasarkan ISO 845. Dimensional spesimen uji dibentuk dengan jelas untuk memudahkan dalam perhitungan volume. Ukuran spesimen setidaknya memiliki total volume minimum 100 cm³. Spesimen benda uji pada pengujian masa jenis dibuat minimal 5 spesimen.

Spesimen yang dibuat, setidaknya menunggu 72 jam setelah pembuatan dan sebelum pemotongan spesimen dilakukan. Spesimen harus disimpan setidaknya selama 16 jam pada keadaan atmosfer standar atau dalam kondisi kering. Pengukuran dimensi dalam satuan (mm), dengan membuat minimal tiga pengukuran yang terpisah dari masing-masing dimensi. Untuk bahan yang kaku dalam bentuk papan, setidaknya dilakukan lima pengukuran pada daerah pusat dan menghitung rata-rata untuk setiap dimensi.

Densitas, ρ dari benda uji diberikan dalam satuan kg/m³, yang diperoleh dari persamaan 2.1.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

dimana :

ρ = massa jenis (kg/m³)

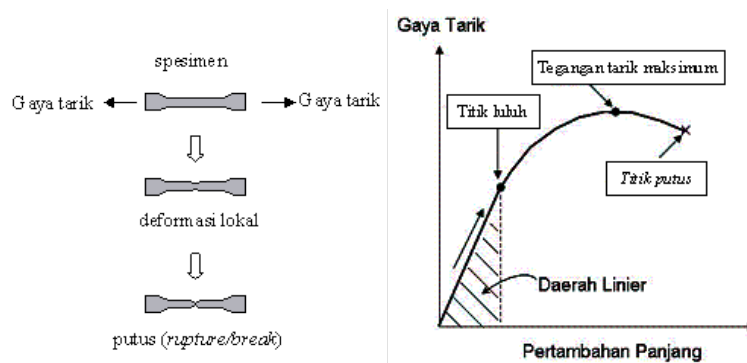
m = massa spesimen uji, (kg)

V = volume spesimen uji, (m³)

2.6.2 Pengujian Tarik

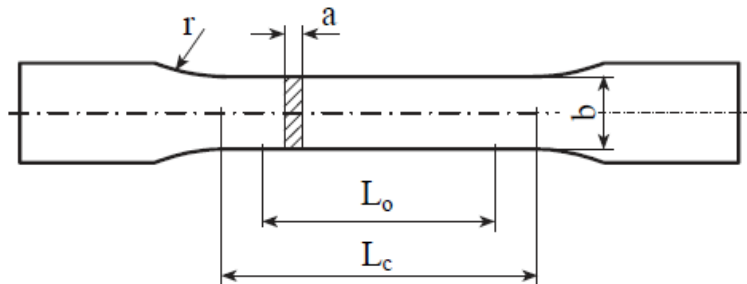
Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik dari material yang diuji. Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu. Pada

pengujian tarik atau *tensile test* spesimen yang diuji akan mengalami perpanjangan akibat diberi beban tarik. Apabila spesimen terus ditarik hingga putus, maka akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap yang berupa kurva seperti digambarkan pada Gambar 2. 9. Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang.



Gambar 2. 9 Uji tarik dan hasil grafik

Pada penelitian ini, pengujian tarik dilaksanakan dengan standar ASTM D638. Adapun bentuk spesimen pada pengujian tarik ini seperti terlihat pada Gambar 2. 10.

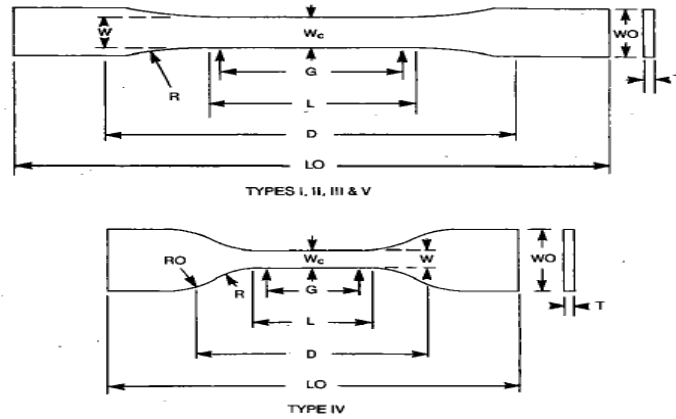


Gambar 2. 10 Bentuk spesimen uji tarik (ASTM D638)

dimana :

- a = ketebalan *sandwich panel*, pelat, maupun *core material*, (mm)
- b = lebar spesimen *sandwich panel*, pelat, maupun *core material*, (mm)
- L_o = panjang pengukuran awal, (mm)
- L_c = panjang bidang spesimen yang diuji, (mm)
- S_o = pengukuran luas penampang pada bidang spesimen uji, (mm²)
- r = radius bidang pada akhir spesimen uji, (mm)

Pada ASTM D638 terdapat berbagai macam tipe ukuran spesimen sesuai dengan ketebalan material. Dimana tipe-tipe ukuran spesimen dapat dilihat pada Gambar 2. 11.



Gambar 2. 11 Tipe spesimen menurut ASTM D638

Pada penelitian ini menggunakan tipe spesimen IV, dimana dimensi spesimen dapat dilihat pada Tabel 2. 3:

Tabel 2. 3 Dimensi spesimen tipe 4 ASTM D638

	Dimensi mm,(in)	Toleransi mm, (in)
W-Width of narrow section	6 (0.25)	$\pm 0.5(\pm 0.02)$
L-Length of narrow section	33 (1.30)	$\pm 0.5(\pm 0.02)$
Wo-Width overall, min	19 (0.75)	$+6.4(+0.25)$
Wo-Width overall, min		$+3.18(+0.125)$
Lo-Length overall, min	115 (4.5)	No max
G-Gage length		$\pm 0.25(\pm 0.010)$
G-Gage length	25 (1.00)	$\pm 0.13(\pm 0.005)$
D-Distance between grips	65 (2.5)	$\pm 5(\pm 0.2)$
R-Radius of fillet	14 (0.56)	$\pm 1(\pm 0.04)$
RO-Outer radius (Type IV)	25 (1.00)	$\pm 1(\pm 0.04)$

Tegangan tarik atau *stress* yang dihasilkan dari pembebanan tarik pada spesimen uji tarik ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.2.

$$\sigma_{tk} = F/A \quad (2.2)$$

Dimana :

F = Gaya (N)

A = Luas penampang (mm²)

σ_{tk} = Tegangan tarik (N/mm²)

Sedangkan, elongasi atau *strain* yang terjadi dapat diperhitungkan dengan persamaan 2.3

$$Elongation, = \frac{(L-L_0)}{L_0} \quad (2.3)$$

Dimana :

L = Jarak dari pertambahan panjang material, (mm)

L_0 = Jarak hasil dari panjang pengukuran awal, (mm)

Hubungan antara *stress* dengan *strain* dapat dirumuskan pada persamaan 2.4.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.4)$$

Dimana :

E = modulus elastisitas atau modulus Young (N/mm²)

σ = stress atau tegangan (N/mm²)

ε = strain atau regangan

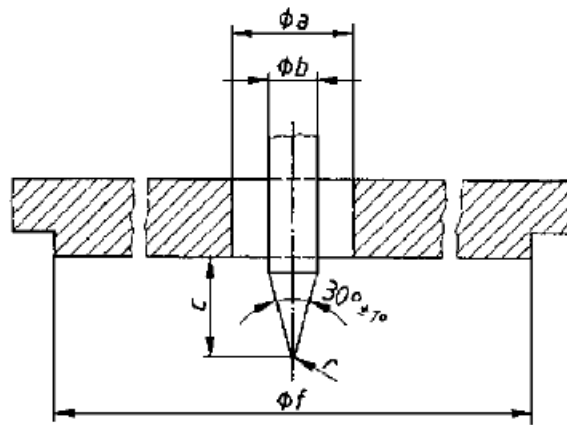
Pada Gambar 2. 9, E adalah gradien kurva dalam daerah linier, di mana perbandingan tegangan (σ) dan regangan (ε) selalu tetap. E diberi nama “*Modulus Elastisitas*” atau “*Young Modulus*”. Kurva yang menyatakan hubungan antara *strain* dan *stress* seperti ini kerap disingkat kurva SS (*SS curve*).

2.6.3 Pengujian Kekerasan (*Hardness*)

Pengujian kekerasan atau *hardness* pada penelitian ini menggunakan standard DIN 53505, pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan daripada *core* atau inti *sandwich* yang digunakan. Kekerasan (*hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*mechanical properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam

penggunaanya akan mengalami gesekan (*frictional force*). Kekerasan diartikan juga sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan).

Uji kekerasan yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan alat durometer, durometer merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kekerasan dari bahan. Durometer merupakan instrumen yang menggunakan prinsip mengukur kekerasan didasarkan pada mengukur kekuatan perlawanan dari penetrasi jarum ke dalam bahan uji di bawah beban pegas. Beberapa bahan yang dapat diuji oleh durometer yaitu karet, plastik, pipa, kayu dan lain – lain. Pada penelitian ini menggunakan durometer Shore D, sesuai dengan aturan DIN 53505.



Gambar 2. 12 Bentuk identer pada Shore D

Pada Gambar 2. 12 dapat dilihat bentuk dari identer/penekan pada Shore D, dimana identer berbentuk runcing pada ujungnya, adapun keterangan dimensi pada Shore D dapat dilihat pada Tabel 2. 4 di bawah ini :

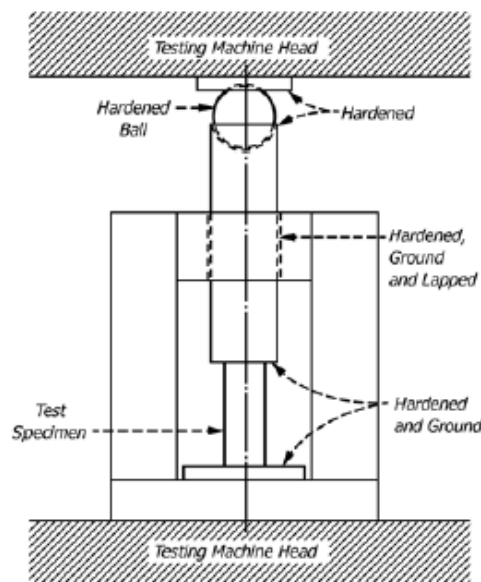
Tabel 2. 4 Dimensi identer Shore D

a	$\Theta (3 \pm 0.10) \text{ mm}$	<i>Identer hardened and polished</i>
b	$\Theta (1.25 \pm 0.15) \text{ mm}$	
c	$(2.5 \pm 0.02) \text{ mm}$	
d	$(0.79 \pm 0.01) \text{ mm}$	
r	$(0.1 \pm 0.01) \text{ mm}$	
f	$\Theta (18.25 \pm 0.5) \text{ mm}$	

Pada pengujian kekerasan ini, sesuai dengan standard DIN 5305, spesimen pengujian kekerasan memiliki ketebalan minimum 6 mm dengan permukaan yang datar dan rata. Pengujian ini dilakukan pada suhu ruangan dan material yang akan diuji dapat dilakukan sekurang-kurangnya 16 jam setelah pencetakan. Pengujian ini dilakukan dengan cara menekan durometer tegak lurus terhadap spesimen, waktu yang dianjurkan untuk pengujian ini adalah dengan menekan selama tiga detik, untuk specimen yang memiliki karakter cukup kuat dengan menekan selama 15 detik.

2.6.4 Pengujian Tekan (*Compressive Test*)

Pengujian tekan atau *compressive strength test* dilakukan sesuai standard ASTM D695. Uji tekan atau *compressive strength test* adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu secara lambat. Alat untuk pengujian tekan seperti pada Gambar 2. 13, alat uji ini sesuai dengan standar yang telah ditentukan.



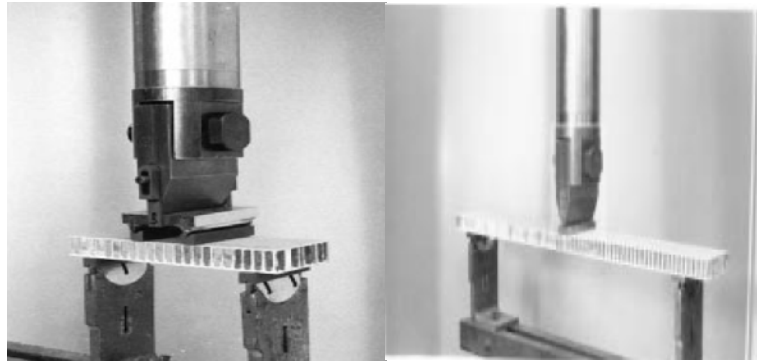
Gambar 2. 13 *Compression tool*

Tes spesimen pada pengujian lentur sesuai standar ASTM D695 adalah berbentuk silinder atau prisma, yang mana panjang dari spesimen adalah dua kali dari lebar atau diameter. Ukuran spesimen yang disarankan adalah 12.7 mm dengan 12.7 mm dengan 25.4 mm (0.5 inchi dengan 0.5 inchi dengan 1 inchi) untuk bentuk spesimen prisma atau 12.7 mm pada diameter dengan 25.4 mm untuk tinggi pada bentuk silinder. Minimum jumlah tes spesimen yang diuji yaitu lima spesimen. Pengujian tekan dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan tekan material atau *compressive strength*, untuk menentukan nilai *compressive strength* dapat dilihat pada persamaan 2.5, yaitu *maximum compressive load* dibagi dengan *minimum cross sectional area*. *Maximum compressive load* ditandai pada saat spesimen sudah tidak dapat melakukan reaksi terhadap gaya yang diberikan, dan juga ditandai dengan material mulai rusak ketika dilakukan pengujian.

$$\text{Compressive strength} = \frac{\text{maximum compressive load}}{\text{minimum cross sectional area}} \quad (2.5)$$

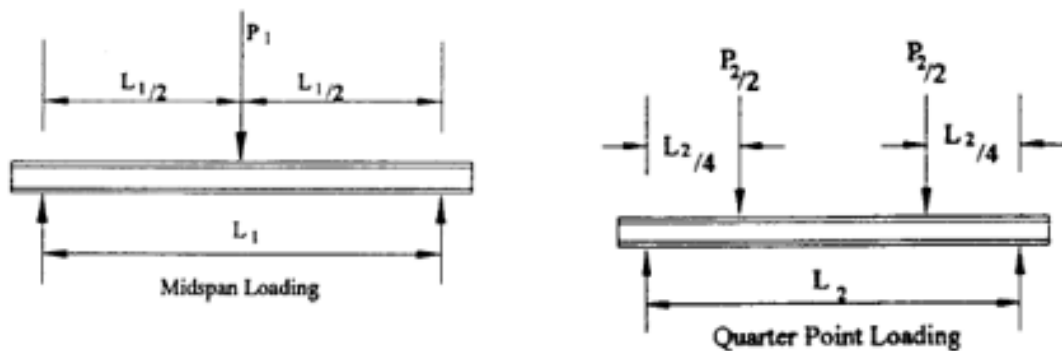
2.6.5 Pengujian Lentur (*Flexural Test*)

Pengujian lentur atau *flexural test* dilakukan pada spesimen *sandwich panel* untuk mengetahui kondisi material terhadap pembebanan lentur berdasarkan nilai tegangan lentur dan defleksi yang terjadi. Spesimen benda uji yang dibuat harus dalam bentuk persegi panjang dengan ketebalan *sandwich panel* berdasarkan hasil perhitungan ketebalan, dengan lebar dari spesimen tidak kurang dari 2 kali total ketebalan atau tidak lebih dari 1,5 panjang bentang. Sedangkan panjang dari spesimen merupakan panjang bentang yang ditambahkan 50 mm. Bentuk pengujian lentur yang diberikan oleh ASTM C393, seperti pada Gambar 2. 14.



Gambar 2. 14 Bentuk pengujian lentur

Pengujian lentur pada standar ASTM C393 dilakukan tidak hanya untuk menentukan kekakuan lentur *sandwich* (*sandwich flexural stiffness*), namun juga dapat menentukan dan menghitung *core shear strength* dan *shear modulus*. Pengujian ini juga dapat menentukan nilai ikatan antara inti dengan pelat (*core-to-facing bonds*).



Gambar 2. 15 Titik pembebanan tunggal dan titik pembebanan ganda
(ASTM C 393, *Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions*)

Gambar 2. 15 menunjukkan dua tipe pengujian dari pembebanan tunggal pada spesimen dan pembebanan ganda, dengan aturan jarak posisi pembebanan yang diberikan pada tiap tipe pengujian yang dilakukan.

Tegangan geser *core*, pada pembebanan tunggal (*midspan loading*), dapat dihitung dengan persamaan 2.6.

$$\tau = \frac{P}{(d+c)b} \quad (2.6)$$

dengan tegangan lentur, *midspan loading*, dapat dihitung dengan persamaan 2.7.

$$\sigma_{lt} = \frac{PL}{2t(d+c)b} \quad (2.7)$$

Defleksi atau lendutan spesimen dihitung berdasarkan persamaan 2.8.

$$\Delta = \frac{PL^3}{48D} + \frac{PL}{4U} \quad (2.8)$$

dengan nilai kekakuan lentur untuk lapisan luar yang sama, dihitung dengan persamaan 2.9.

$$D = \frac{E(d^3 - c^3)b}{12} \quad (2.9)$$

Selanjutnya dalam pengujian lentur, diperlukan perhitungan modulus kerusakan (*Modulus of Rupture*) dengan menggunakan persamaan 2.10 berdasarkan ASTM C 393.

$$R = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (2.10)$$

Berikut ini adalah notasi untuk persamaan (2.6) hingga (2.10):

τ = tegangan geser *core*, (MPa)

σ_{lt} = tegangan lentur, (MPa)

P = beban, (N)

d = ketebalan *sandwich*, (mm)

c = ketebalan lapisan *core*, (mm)

b = lebar *sandwich*, (mm)

L = panjang bentang, (mm)

Δ = total defleksi bidang tengah bentang, (mm)

G = modulus geser inti, lihat (G_c , bab 2), (MPa)

E = modulus elastisitas lapisan baja, lihat (E_f), (MPa)

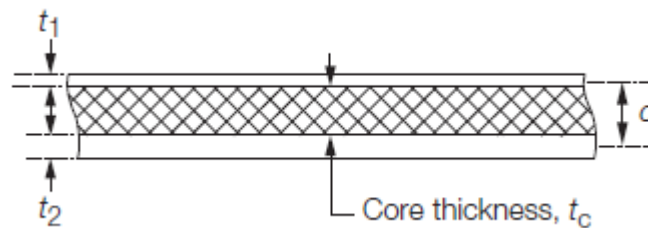
D = kekakuan lentur panel, (N.mm²)

$U = \frac{G(d+c)^2b}{4c}$, (N)

R = modulus of rupture, (MPa)

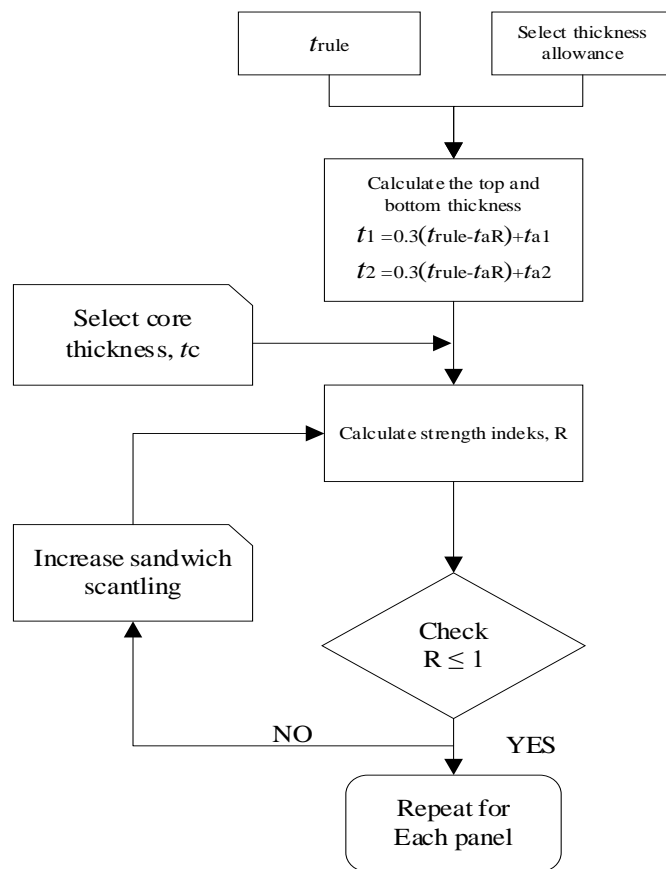
2.6 Penentuan Ketebalan *Sandwich Panel*

Penentuan ketebalan dari penggunaan *sandwich panel* mengacu pada standar *Provisional Rules for the Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure*, Lloyd's Register, 2015. Pada *rules* telah diterangkan bahwa *sandwich panel* terdiri dari tiga bagian yaitu pelat atas (*top plate*), inti (*core*), dan pelat bawah (*bottom plate*). Pada Gambar 2. 16 menunjukkan bahwa *sandwich panel* memiliki tiga bagian, yaitu t_1 untuk ketebalan lapisan atas (*top plate*), t_2 untuk ketebalan lapisan bawah (*bottom plate*) dan t_c untuk ketebalan lapisan inti *core material*.



Gambar 2. 16 Definisi ketebalan *sandwich plate*

Ketebalan minimum dari rancangan *sandwich panel*, dihitung berdasarkan *rules*, dimana skema penentuan ketebalan *sandwich* yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 2. 17.



Gambar 2. 17 Skema penentuan tebal *sandwich panel*

Pada Tabel 2. 5 dapat dilihat untuk ketebalan minimum pelat atas (*top thickness*) dan pelat bawah (*bottom thickness*) dimana untuk konstruksi baru minimum tebal pelat baik atas maupun bawah adalah 3 mm dan untuk konstruksi lapisan atas minimum tebal pelat atas 3 mm dan pelat bawah minimum 50% dari tebal pelat sesuai *rules*. Dengan ketebalan minimum *core* atau inti adalah 15mm.

Tabel 2. 5 Ketebalan minimum pelat

Item	Minum thickness in mm	
	New contruction	Overlay construction
t_{1MIN}	3,0	3,0
t_{2MIN}	3,0	50 % of the as-built thickness

Minimum ketebalan *core* (t_c) = 15 mm

Pada Tabel 2. 6 merupakan kelonggaran ketebalan atau *thickness allowance* yang diatur oleh LR.

Tabel 2. 6 *Thickness allowance*

<i>Strusture</i>	t_{aR}	t_{a1}	t_{a2}
<i>Bottom shell</i>	1	0	1
<i>Side shell</i>	1	0	1
<i>Inner bottom, hopper plating</i>	2	1	1
<i>Inner bottom, at crown of tank</i>	3.5	1	2.5
<i>Strength deck</i>	3.5	2.0	0
<i>Internal deck</i>	0	0.0	0
<i>Superstructure Deck</i>	0	0.0	0
<i>Watertight bulkheads</i>	0	0.0	0
<i>Deep tank bulkheads</i>	2.5	0.0	2.5
<i>Deep tank crown which is also a deck</i>	3.5	1.0	2.5
<i>Vahicle deck clear of tanks</i>	2	2	0

Langkah-langkah perhitungan untuk menentukan ketebalan *sandwich* seperti pada Gambar 2. 17. Langkah awal yang dilakukan yaitu perhitungan t_{rule} dan *thickness allowance* sesuai dengan kontruksi kapal yang akan menggunakan struktur *sandwich*. Langkah selanjutnya yaitu perhitungan tebal pelat *sandwich* kemudian perhitungan tebal inti. Dan langkah terakhir yaitu perhitungan *strength index*, R ,dengan menggunakan persamaan 2.11. Dimana nilai $R \leq 1$, jika dalam suatu perhitungan nilai R tidak memenuhi, maka harus dilakukan perhitungan ulang dengan memvariasi tebal pelat dan tebal inti.

$$R = 0,01A_R 0,1 \left[\frac{b^2}{d(t_1 + t_2)} + 11,7 \left(\frac{bt_c}{d^2} \right)^{1,3} \right] kP_{eq}; R \leq 1 \quad (2.11)$$

Dimana :

$$A_R = \left(\frac{a}{b} \right)^{0,65}$$

$$P_{eq,R} = 0,0017 (Z_{rule}/l^2) , \text{ (MPa)}$$

$$L = \text{panjang panel, (m)}$$

$$Z_{rule} = \text{ekivalen modulus penampang, (cm}^3\text{)} ; \text{ disesuaikan penampang midsihip}$$

$$t_c = \text{pilihan ketebalan lapisan inti, (mm)}$$

$$a = \text{panjang panel pada tepi terpanjang, (mm)}$$

- b = lebar panel pada tepi terpendek, (mm)
- d = parameter ketebalan, (mm)
- t_1, t_2 = ketebalan panel lapisan atas dan bawah, (mm)
- t_{rule} = tebal pelat sesuai *rules*, mm
- k = faktor kekuatan baja

Persamaan 2.11 tersebut merupakan penentuan ketebalan lapisan inti yang difungsikan pada pembangunan konstruksi kapal baru. Sedangkan, untuk kondisi penggunaan konstruksi *overlay* yang biasanya dilakukan untuk melapisi bagian pelat baja pada konstruksi kapal, penentuan ketebalan lapisan inti diperhitungkan dengan persamaan 2.12.

$$R = 0,0125 \left[0,1 \frac{s^2}{d(t_1 + t_2)} + 11,7 \left(\frac{st_c}{d^2} \right)^{1,3} \right] P_{eq},; R \leq 1 \quad (2.12)$$

Dimana :

- s = jarak antara *longitudinal stiffeners*, (mm)
- P_{eq} = $200 (t_{rule}/s)^2$, (MPa).

Dengan t_{rule} , ditentukan berdasarkan perhitungan ketebalan kebutuhan pelat yang disesuaikan dengan tipe kapal yang dianalisa. Perhitungan ketebalan ini mengacu pada penggunaan standardisasi yang telah diatur dalam *rule* yang digunakan. Di dalam perhitungan nilai *strength index*, R, harus kurang dari sama dengan satu, jika pada perhitungan nilai R tidak memenuhi maka harus melakukan perhitungan ulang.

2.7 Finite Element Method

Finite element method (FEM) atau metode elemen hingga merupakan sebuah metode numerik untuk menyelesaikan masalah teknik (*engineering*) dan matematik fisik. Proses analisis metode elemen hingga adalah membagi benda kerja menjadi elemen-elemen kecil yang jumlahnya berhingga sehingga dapat menghitung reaksi akibat beban (*load*) pada kondisi batas (*boundary condition*) yang diberikan, metode elemen hingga merupakan representasi badan atau sistem struktur yang dirakit dari elemen – elemen badan/sistem. Elemen – elemen dalam metode ini

membentuk suatu sistem jaringan melalui hubungan/sambungan di titik-titik nodal elemen, pada prosesnya elemen-elemen tersebut dapat disusun menjadi persamaan-persamaan matriks yang bisa diselesaikan secara numerik dan hasilnya menjadi jawaban dari kondisi beban yang diberikan pada benda kerja tersebut. Metode elemen hingga (FEM) dapat mengubah suatu masalah yang memiliki jumlah derajat kebebasan tidak berhingga menjadi suatu masalah dengan jumlah derajat kebebasan tertentu sehingga proses pemecahannya lebih sederhana.

Metode elemen hingga pada saat ini banyak digunakan karena proses yang dilakukan cukup mudah dan hasil yang didapatkan cukup akurat, permasalahan-permasalahan yang cukup kompleks dapat diselesaikan dengan metode ini. Metode ini dapat digunakan untuk menyelesaikan beberapa masalah struktur dan non-struktur seperti :

- *Mechanical/Aerospace/Civil/Automotive*
- *Engineering*
- *Structural/Stress Analysis*
- ✓ *Static/Dynamic*
- ✓ *Linear/Nonlinear*
- *Fluid Flow*
- *Heat Transfer*
- *Electromagnetic Fields*
- *Soil Mechanics*
- *Acoustics*
- *Biomechanics*

Pada saat ini penggunaan metode emelen hingga sudah sangat maju, beberapa perusahaan mengembangkan metode ini dengan penggunaan *software* atau perangkat lunak. *Software finite element analysis* sudah sangat banyak beredar dan dengan kemampuan yang sudah sangat baik dengan paket-paket yang ditawarkan, beberapa *software* yang ada diantaranya ANSYS, ABAQUS, SAP 2000, Nastran dan lain-lain. Penggunaan *software* juga harus diimbangi dengan kemampuan operator yang mumpuni sehingga menghasilkan data yang valid. Proses pembuatan

model pada *software finite element* lebih mudah dilakukan sehingga dapat mengurangi waktu pengerjaan model yang akan dianalisa strukturnya.

Metode elemen hingga mempunyai beberapa keuntungan diantaranya :

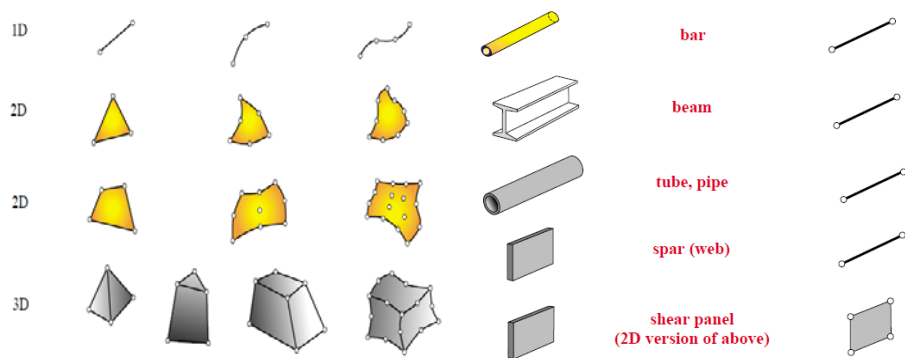
- *Irregular Boundaries*
Kondisi batas yang tidak regular dan tidak beraturan dapat dengan mudah didefinisikan dengan metode ini.
- *General Loads*
Kondisi beban secara umum dapat dengan mudah diaplikasikan.
- *Different Materials*
Jenis material yang berbeda dalam satu struktur dapat didefinisikan dan dapat dianalisa.
- *Boundary Conditions*
Pada beberapa kondisi batas pada suatu struktur dapat diaplikasikan dan dianalisa.
- *Variable Element Size*
Variasi ukuran elemen dapat digunakan dan diaplikasikan pada satu struktur yang dianalisa.
- *Easy Modification*
Modifikasi atau perubahan dalam satu struktur dapat dengan mudah dilakukan.
- *Dynamics*
Efek dinamika pada suatu struktur dapat didapatkan dari hasil pemodelan dan *running*.
- *Nonlinear Problems (Geometric or Material)*
Masalah struktur non-linier dapat dengan mudah didefinisikan dan dianalisa.

Untuk meringkas dan lebih memudahkan bagaimana langkah-langkah cara kerja dari metode elemen hingga, dapat dilihat pada daftar dibawah ini :

1. *Discretize the continuum* (Diskritisasi rangkaian kesatuan)

Langkah pertama pada metode elemen hingga yaitu membagi struktur atau *region* menjadi elemen-elemen hingga yang memiliki geometri lebih sederhana

(diskritisasi) seperti terlihat pada Gambar 2. 18. Elemen yang telah dibentuk saling berhubungan pada titik simpul (*node*) yang membentuk struktur sebenarnya. Proses pembagian ini menjadi elemen-elemen kecil ini juga disebut proses *meshing*, pada proses ini biasanya dihasilkan oleh program preprocessor. Deskripsi mesh terdiri dari beberapa susunan utama yang terdiri dari koordinat nodal dan konektivitas elemen.



Gambar 2. 18 Beberapa jenis elemen

2. *Select interpolation functions* (Pemilihan fungsi interpolasi)

Fungsi interpolasi digunakan untuk menginterpolasi variable-variable diatas elemen. Seringkali, polinomial dipilih untuk fungsi interpolasi. Tingkat polynomial tergantung dari jumlah node yang ada pada elemen. Pada beberapa literatur menerangkan fungsi interpolasi disebabkan karena sulitnya mencari jawaban tertutup.

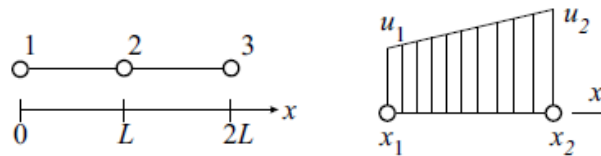
3. *Find the element properties* (Mendefinisikan sifat-sifat elemen)

Persamaan matriks untuk elemen hingga harus ditetapkan yang menghubungkan nilai-nilai nodal dari fungsi yang tidak diketahui ke parameter lain. Untuk tugas ini, pendekatan yang berbeda dapat digunakan; yang paling mudah adalah: pendekatan variasional dan metode Galerkin. Hubungan ini bertujuan untuk mendapatkan persamaan untuk setiap elemen hingga.

4. *Assemble the element equations* (Penurunan persamaan elemen)

Untuk menemukan sistem persamaan global untuk seluruh wilayah solusi, kita harus mengumpulkan semua persamaan elemen. Dengan kata lain kita harus

menggabungkan persamaan elemen lokal untuk semua elemen yang digunakan untuk diskritisasi, seperti terlihat pada Gambar 2. 19. Koneksi elemen digunakan untuk proses perakitan. Sebelum solusi, kondisi batas (yang tidak diperhitungkan dalam persamaan elemen) harus diterapkan.



Gambar 2. 19 Ukuran linier elemen dan fungsi interpolasi

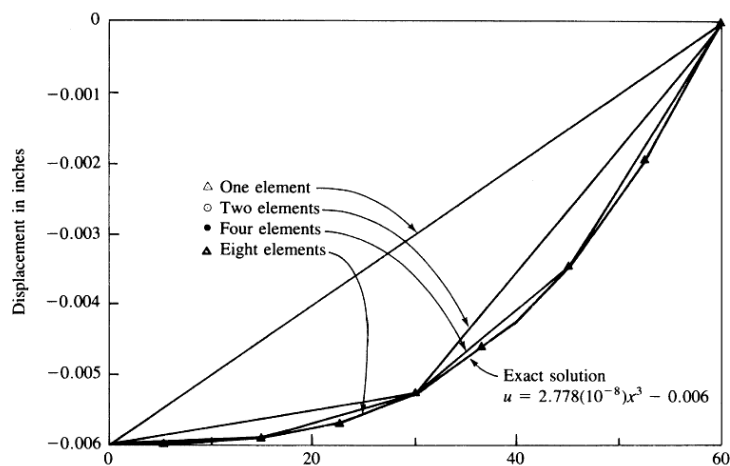
5. *Solve the global equation system* (Penyelesaian persamaan system umum)

Sistem persamaan global elemen hingga ini biasanya jarang (*sparse*), simetris dan positif. Metode langsung dan iteratif dapat digunakan untuk solusi. Nilai nodal fungsi yang dicari dihasilkan sebagai hasil dari solusi.

6. *Compute additional results* (Perhitungan tambahan hasil)

Dalam banyak kasus kita perlu menghitung parameter tambahan. Sebagai contoh, dalam masalah-masalah mekanis, ketegangan dan tekanan menjadi penting selain perpindahan, yang diperoleh setelah solusi sistem persamaan global. Dalam beberapa literatur menerangkan tahap terakhir ini juga sebagai interpretasi hasil dari perhitungan, pada beberapa *program software* tahap ini ditemukan di *postprocessor*.

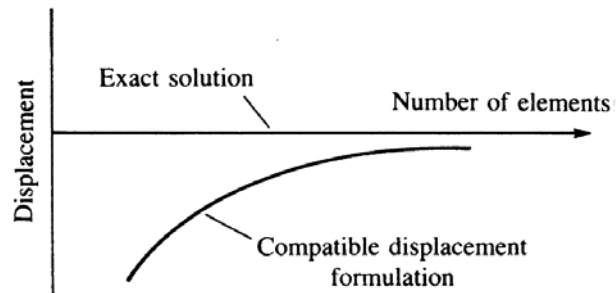
Dalam literatur mengenai metode elemen hingga (FEM), seringkali disebutkan bahwa akurasi solusi elemen hingga semakin meningkat dengan semakin banyaknya elemen yang digunakan, akan tetapi dengan semakin banyaknya elemen yang digunakan maka waktu yang dibutuhkan untuk komputasi juga semakin besar. Bahkan terkadang jumlah elemen yang terlalu besar akan meningkatkan *round-off error*.



Gambar 2. 20 Perbandingan solusi eksak dengan elemen hingga

Pada Gambar 2. 20 dapat dilihat bahwa hasil perhitungan elemen hingga hampir mendekati dengan hasil perhitungan eksak di *node* poinnya. Alasan mengapa nilai-nilai nodal tersebut dapat mendekati solusi eksak bahwa gaya yang bekerja pada nodal disetiap elemen dihitung atas dasar energi beban ekuivalen yang didistribusikan merata pada setiap elemen. Meskipun nilai perpindahan nodal tersebut sesuai dengan solusi eksak, namun nilai-nilai di lokasi antar nodal buruk untuk jumlah elemen yang sedikit (lihat solusi satu dan dua elemen pada gambar di atas) karena hal tersebut menggunakan perpindahan fungsi linier dalam setiap elemen, sedangkan solusi eksak menggunakan fungsi kuadrat (Logan, 2007).

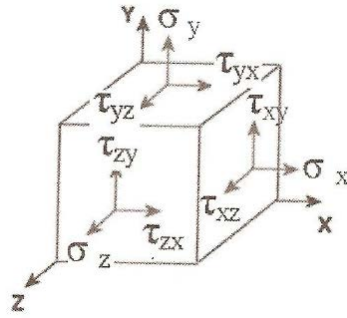
Rekomendasi untuk menentukan jumlah elemen dengan akurasi hasil yang bisa diterima dalam suatu analisis elemen hingga adalah dengan melakukan uji konvergensi (*convergence test*) terhadap hasil yang diperoleh. Pada Gambar 2. 21 dapat dilihat dengan bertambahnya jumlah elemen maka hasil akan mendekati hasil dari perhitungan eksak. Langkah untuk menentukan jumlah elemen atau ukuran elemen yaitu analisis awal dilakukan dengan ukuran/jumlah elemen tertentu, solusi diperoleh dengan menyelesaikan model yang digunakan. Analisis kemudian diulang dengan jumlah elemen yang lebih besar, nilai displacement pada lokasi tertentu dibandingkan dengan hasil analisis sebelumnya. Jika perbedaan nilai *displacement* antara kedua analisis tersebut cukup besar, maka analisis diulang lagi dengan jumlah elemen yang lebih besar hingga perbedaan nilai *displacement* tersebut dianggap cukup kecil.



Gambar 2. 21 Contoh konvergensi hasil *displacement*

Di dalam pemodelan *finite element* dengan menggunakan *software* perlu ditekankan pentingnya pengetahuan tentang pembacaan hasil sehingga hasil yang didapatkan bisa mendekati hasil eksak. Pada penelitian ini pembacaan hasil dan interpretasi hasil menggunakan kriteria *stress von misses*, *The Von Mises* Kriteria, juga dikenal sebagai kriteria maksimum energi distorsi, teori tegangan geser oktahedral, atau teori *Maxwell-Huber-Hencky-von Mises*, sering digunakan untuk memperkirakan titik kegagalan untuk material *ductile*. Ketika struktur dikenakan beban yang terus meningkat dan akhirnya gagal. Hal ini relatif mudah untuk menentukan titik kegagalan suatu struktur untuk kekuatan tarik tunggal. Data-data kekuatan material dapat menjadi acuan pengidentifikasi kekuatan ini. Teori *principal stress* maksimum adalah teori yang dikembangkan oleh Rankine. Menurut teori ini kegagalan akan terjadi ketika *principal stress* maksimum dalam suatu sistem mencapai nilai kekuatan maksimum pada batas elastis dalam tegangan sederhana material tersebut.

Kriteria *von Mises* menyatakan bahwa kegagalan terjadi ketika energi distorsi atau tegangan mencapai nilai yang sama untuk hasil / kegagalan dalam uji kegagalan material pada beban aksial sederhana. *Von Mises stress*, juga dikenal sebagai *Huber stress*, adalah kriteria yang memperhitungkan enam komponen tegangan yang digambarkan tiga dimensi seperti Gambar 2. 22.



Gambar 2. 22 Kriteria *Von Mises* dengan 6 komponen tegangan

Von Mises stress σ_{vm} , dengan enam komponen tegangannya dirumuskan seperti persamaan 2.13.

$$\sigma_{vm} = \sqrt{0.5 \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 \right] + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (2.13)$$

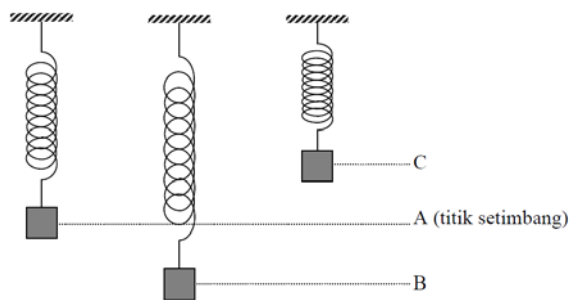
2.8 Karakteristik Dinamik

Karakteristik dinamik merupakan karakteristik yang respon masukannya dipengaruhi oleh waktu, beberapa karakteristik dinamik yang ada yaitu seperti frekuensi natural, moda getar dan rasio redaman. Karakteristik dinamik sangat penting diketahui untuk menghindari terjadinya resonansi dan getar yang berlebih. Resonansi merupakan suatu fenomena dimana frekuensi natural benda sama dengan frekuensi lingkungan yang dapat menyebabkan struktur bergetar dan rusak dikarenakan amplitudo yang tinggi. Frekuensi natural dimana saat sebuah sistem mengalami *displacement* yang sangat besar akibat getaran walaupun gaya yang bekerja sangat kecil. Setiap sistem mempunyai frekuensi naturalnya masing-masing. Karakteristik dinamik suatu struktur dapat diketahui dengan cara pengujian eksperimen dan uji numerik.

2.7.1 Getaran

Getaran merupakan gerakan osilasi atau gerakan bolak-balik dalam waktu tertentu, gerakan ini ditandai dengan berayunnya suatu benda untuk mencapai titik keseimbangannya. Ilustrasi paling sederhana menjelaskan getaran adalah mekanisme pegas yang diberi massa pada ujungnya seperti pada Gambar 2. 23. Setiap komponen mekanikal memiliki berat dan properties yang menyerupai pegas.

Ada dua kelompok getaran yang umum yaitu getaran bebas dan getaran paksa. Getaran dibagi menjadi dua yaitu getaran bebas dan getaran paksa berdasarkan gaya yang bekerja pada suatu struktur. Getaran bebas adalah getaran yang diakibatkan oleh beban struktur itu sendiri tanpa adanya gangguan dari beban luar sehingga struktur secara bebas untuk bergetar. Sedangkan getaran paksa adalah getaran yang diakibatkan oleh gaya luar yang bekerja pada struktur itu.



Gambar 2. 23 Getaran sistem massa-pegas

Pada getaran paksa, gaya luar pada struktur bergetar dengan satuan waktu tertentu yang menyebabkan frekuensi yang sama dengan frekuensi natural struktur sehingga terjadi resonansi dan menyebabkan amplitudo yang tinggi dan struktur akan mengalami deformasi yang tidak tercapai batasnya dan mengakibatkan struktur menjadi runtuh. Frekuensi natural adalah frekuensi sistem yang mempunyai getaran bebas tanpa peredaman. Pada beberapa kasus, getaran merupakan sesuatu yang tidak diinginkan seperti getaran pada mesin, gempa bumi, getaran pada struktur, namun disisi lain getaran dapat berguna seperti getaran *speaker*, *handphone*, dan alat musik.

Benda yang bergetar, pada akhirnya akan berusaha kembali pada titik keseimbangannya, dimana secara perlahan benda akan berkurang amplitudonya hingga mencapai nilai nol. Pengurangan nilai amplitudo dalam getaran ini disebut sebagai redaman. Di dalam redaman, terdapat hal yang dinamakan *damping ratio*, persamaan 2.14. *Damping ratio* merupakan sebuah parameter yang tidak memiliki

dimensi sebagai perbandingan antara actual damping dengan critical damping, *damping ratio* dapat dituliskan seperti persamaan berikut.

$$\zeta = \frac{c}{c_c} \quad (2.14)$$

Dimana:

ζ = *damping ratio*
 c = actual damping
 c_c = damping kritis

Pada saat sebuah struktur bergetar maka akan terjadi osilasi pada frekuensi natural (ω), frekuensi natural yang dimiliki struktur juga dipengaruhi oleh kekakuan dan massa, terlihat pada persamaan 2.15, dimana untuk menentukan frekuensi natural dipengaruhi oleh kekakuan dan massa dari struktur.

$$\omega_n = (\beta_n l)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho l^4}} = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.15)$$

Dimana,

ω_n =frekuensi natural (Hz)
 ρ = massa jenis bahan (kg/m^3)
 l = panjang balok (m)
 I = momen inersia balok (m^4)
 E = Modulus Young (N/m^2)

Pada literatur yang ditulis oleh Thomson (1980) menerangkan bahwa nilai dari $(\beta_n l)$ tergantung dari kondisi tumpuan, seperti pada kondisi batang dengan tumpuan tertentu terlihat pada Tabel 2. 7.

Tabel 2. 7 Nilai numerik $(\beta_n l)^2$ untuk keadaan ujung tertentu (Thomson, 1980)

Konfigurasi Batang	$(\beta_1 l)^2$ Mode 1	$(\beta_2 l)^2$ Mode 2	$(\beta_3 l)^2$ Mode 3
Ditopang sederhana	9.87	39.5	88.9
Konsol	3.52	22.0	61.7
Bebas-bebas	22.4	61.7	121.0
Jepit-jepit	22.4	61.7	121.0
Jepit-engsel	15.4	50.0	104
Engsel-bebas	0	15.4	50.0

Sumber : Thomson (1980)

Redaman adalah proses dimana terjadinya pengurangan amplitudo dari suatu getaran akibat terdisipasinya energi akibat gesekan dan hal lainnya. Untuk sistem teredam ringan, rasio redam untuk moda ke-n ζ_n berhubungan dengan frekuensi natural pada moda tersebut dan frekuensi-frekuensi yang berada diantaranya. Hal ini direpresentasikan oleh persamaan 2.16 dan 2.17

$$\zeta_n = \frac{\omega_b - \omega_a}{2\omega_n} \quad (2.16)$$

Dimana :

ω_n =frekuensi natural (Hz)

ω_b =frekuensi ke-b (Hz)

ω_a =frekuensi ke-a (Hz)

$$|H(\omega_a)| = |H(\omega_b)| = \frac{|H(\omega_n)|}{\sqrt{2}} \quad (2.17)$$

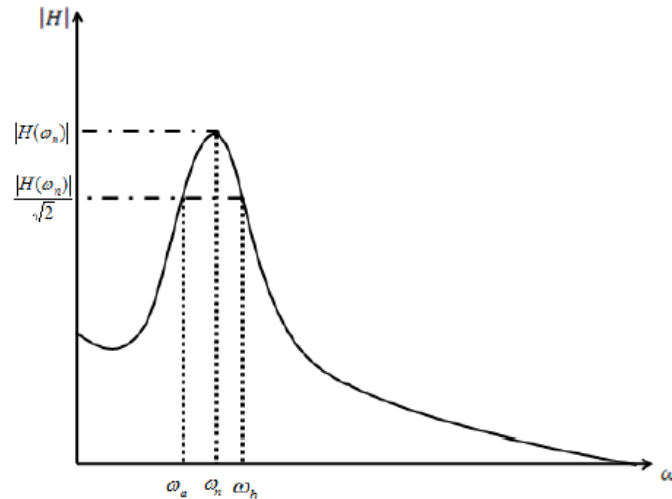
Dimana :

$|H(\omega_a)|$ = amplitudo frekuensi ke-a

$|H(\omega_b)|$ = amplitudo frekuensi be-a

$|H(\omega_n)|$ = amplitudo frekuensi natural

Di dalam menentukan rasio redaman suatu getaran dapat dilihat seperti pada Gambar 2. 24. dimana rasio redaman dianalisa secara individual moda ke-n. Ini merupakan cara termudah untuk mendapatkan nilai rasio redam tiap moda dengan menggunakan hasil pengukuran. Dimana tiap rasio redam per-moda didapatkan dari analisa individu per-moda dari kurva fungsi respon frekuensi.



Gambar 2. 24 Penentuan rasio redaman

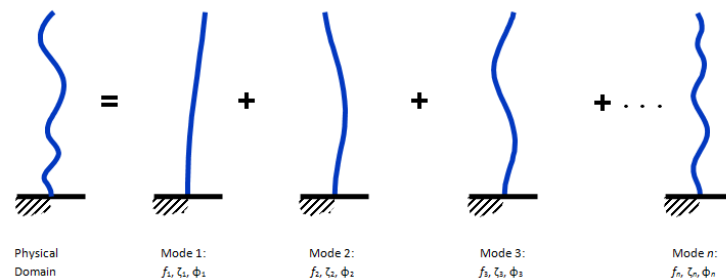
2.7.2 Modal Analysis

Modal analysis merupakan sebuah alat yang sangat handal untuk membantu kita dalam memahami karakteristik getaran dari struktur mekanik. *Modal analysis* merupakan proses menentukan parameter modal seperti frekuensi modal, redaman modal dan mode *shape*. Dalam prosesnya, modal analisis menyederhanakan respon getaran dari struktur yang kompleks dengan mengurangi atau mengecilkan data menjadi satu set parameter modal sehingga dapat dilakukan proses analisa. Lebih lanjut, satu set parameter modal dapat sepenuhnya mencirikan dari sifat-sifat dinamik. Aplikasi dan pemanfaatan *modal analysis* sudah banyak diberbagai bidang seperti aeronautika, sipil, mekanikal, struktur dan lain-lain.

Semua sistem yang ada dapat bergetar, analisis modal adalah alat yang kuat untuk memecahkan masalah getaran. Perilaku dinamis yang melekat pada sistem dalam rentang frekuensi yang diberikan dapat ditunjukkan oleh serangkaian mode getaran individual. Setiap mode getaran memiliki frekuensi alami individu, rasio redaman dan bentuk mode. Adapun parameter modal yaitu :

- *Mode shape*
- *Natural frequency*
- *Damping ratio*

Frekuensi natural dan rasion redaman disebut 'Parameter global' karena tidak berubah di seluruh struktur, dan dapat diperoleh dari setiap pengukuran respon frekuensi yang diambil dari struktur kecuali yang diukur pada titik nodal di mana bentuk modus memiliki perpindahan nol. *Mode shape* adalah pola defleksi yang mewakili perpindahan relatif dari semua bagian struktur. Parameter modal dapat diperkirakan dengan mengukur respon frekuensi antara titik referensi dan sejumlah titik pengukuran. Analisis modal adalah alat yang ampuh untuk menganalisis frekuensi, bentuk modus, rasio redaman, ketika getaran terjadi secara alami. Parameter modal banyak digunakan tidak hanya dalam teknik mesin tetapi juga di banyak bidang, misalnya, dapat digunakan untuk validasi model, pembaruan model, kontrol kualitas dan pemantauan kesehatan. Adapun ilustrasi beberapa bentuk *mode shape* seperti terlihat pada Gambar 2. 25.

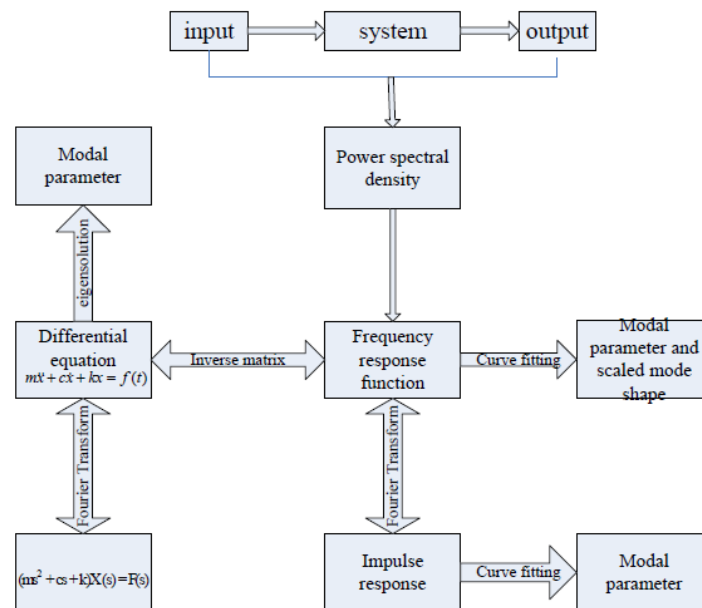


Gambar 2. 25 Ilustrasi *mode shape*

2.7.3 Modal Analysis Experiment

Modal Analysis Experiment atau analisis modal eksperimental adalah salah satu teknologi utama dan penting dalam analisis dinamika struktural saat ini. Ini adalah proses penentuan parameter modal dari suatu sistem untuk semua mode dalam rentang frekuensi yang diberikan dengan cara pendekatan eksperimental untuk mendapatkan data pengukuran eksperimental. Menurut data eksperimen input-output tersebut, kita dapat menghitung Fungsi Respon Frekuensi (FRF) yang

menggambarkan hubungan antara titik input dan titik output pada sistem sebagai fungsi frekuensi. Parameter modal eksperimental dapat diperoleh bentuk *Frequency Response Function* (FRF) dengan melengkung pas satu set FRF. Ada cara analitis dan eksperimental yang dapat menentukan parameter modal. *Curve fitting* adalah proses pencocokan ekspresi matematis ke satu set titik data, terlihat pada Gambar 2. 26 diagram proses *experimental modal analysis*.



Gambar 2. 26 *Experimental Modal Analysis*

Secara umum terdapat tiga langkah dalam *experimental modal analysis* yaitu :

- *Data acquisition*

Salah satu langkah penting adalah mengukur respons getaran struktur. Memilih titik eksitasi yang baik, menarik struktur, mengukur respon getaran terhadap teori dan algoritma matematika untuk mengekstraksi parameter modal untuk memastikan bahwa data dapat digunakan untuk menghitung *mode shape* dan frekuensi resonansi dari struktur.

- *Modal parameter estimation*

Modal parameter estimation berkaitan dengan masalah praktis memperkirakan parameter modal. Di dalam prosesnya kita dapat menggunakan diagram stabilitas untuk memecahkan masalah utama yaitu

memilih urutan modal yang benar. Kita melakukan analisis berulang terhadap data yang sama, setiap kali menggunakan urutan modal yang berbeda. Untuk setiap analisis kita bisa mendapatkan nilai kutub baru. Dari diagram stabilitas, kita harus memilih kutub yang tepat dan mengabaikan kutub-kutub komputasional (palsu).

- *Modal data presentation/validation*

Modal data presentation/validation di mana kita ingin memvalidasi model modal yang teridentifikasi. Ini biasanya melibatkan perencanaan dan animasi. Kita dapat mensintesis Fungsi Respon Frekuensi dari parameter modal yang diperkirakan dan membandingkannya dengan hasil teoritis. Fungsi indikator mode dan diagram stabilitas juga digunakan untuk validasi model.

2.7.4 Fourier Transform

Fourier transform atau transformasi fourier adalah suatu model transformasi yang memindahkan sinyal domain spasial atau sinyal domain waktu menjadi sinyal domain frekuensi. Di dalam pengolahan suara, transformasi fourier banyak digunakan untuk mengubah domain spasial pada suara menjadi domain frekuensi. Analisa-analisa dalam domain frekuensi banyak digunakan seperti filtering. Dengan menggunakan transformasi fourier, sinyal atau suara dapat dilihat sebagai suatu objek dalam domain frekuensi. sudah menjadi hal yang sangat dasar dalam modal analysis. Terdapat dua transformasi fourier yang dikenal yaitu *Discrete Fourier Transform* (DFT) dan *Fast Fourier Transform* (FFT).

Transformasi Fourier Diskrit (Discrete Fourier Transform - DFT) adalah prosedur yang paling umum dan kuat pada bidang pemrosesan sinyal digital. DFT memungkinkan untuk menganalisis, memanipulasi, dan mensintesis sinyal dengan cara yang tidak mungkin dilakukan dalam pemrosesan sinyal analog. Meskipun sekarang digunakan dalam hampir setiap bidang teknik. Aplikasi yang menggunakan DFT terus berkembang sebagai utilitas yang menjadikan DFT lebih mudah untuk dimengerti. Meskipun DFT memainkan peranan yang penting sebagai prosedur matematis untuk menentukan isi frekuensi dari urutan domain waktu, namun sangat tidak efisien. Jumlah titik dalam DFT meningkat menjadi ratusan

atau ribuan, sehingga jumlah- jumlah yang dihitung menjadi tidak dapat ditentukan. Algoritma yang sekarang dikembangkan dan dikenal yaitu *Fast Fourier Transform* (FFT). Sebelum munculnya FFT, seribu titik DFT membutuhkan waktu begitu lama untuk melakukan perhitungan yang pada saat itu masih terbatas pada komputer-komputer berspesifikasi rendah. Gagasan Cooley dan Tukey, dan perkembangan industri semikonduktor menjadikan jumlah N-titik DFT semisal 1024- titik, dapat dilakukan dalam beberapa detik saja pada komputer berspesifikasi rendah. *Fourier Transform* memiliki persamaan seperti terlihat pada persamaan 2.18

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-i\omega t} dt \quad (2.18)$$

Dimana:

$X(f)$ = fungsi spectrum pada frekuensi domain

$X(t)$ = fungsi spectrum pada *time domain*

i = $\sqrt{-1}$

ω = frekuensi (Hz)

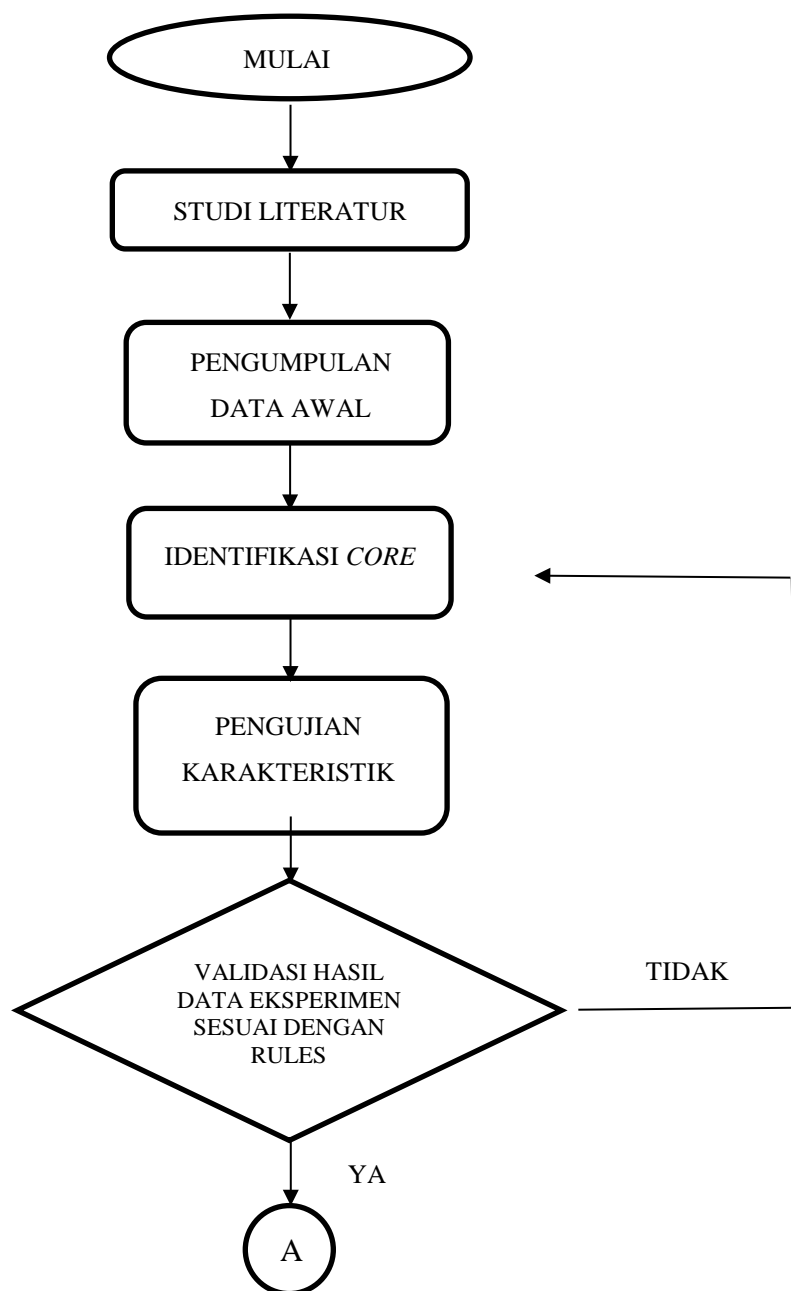
t = waktu (sec)

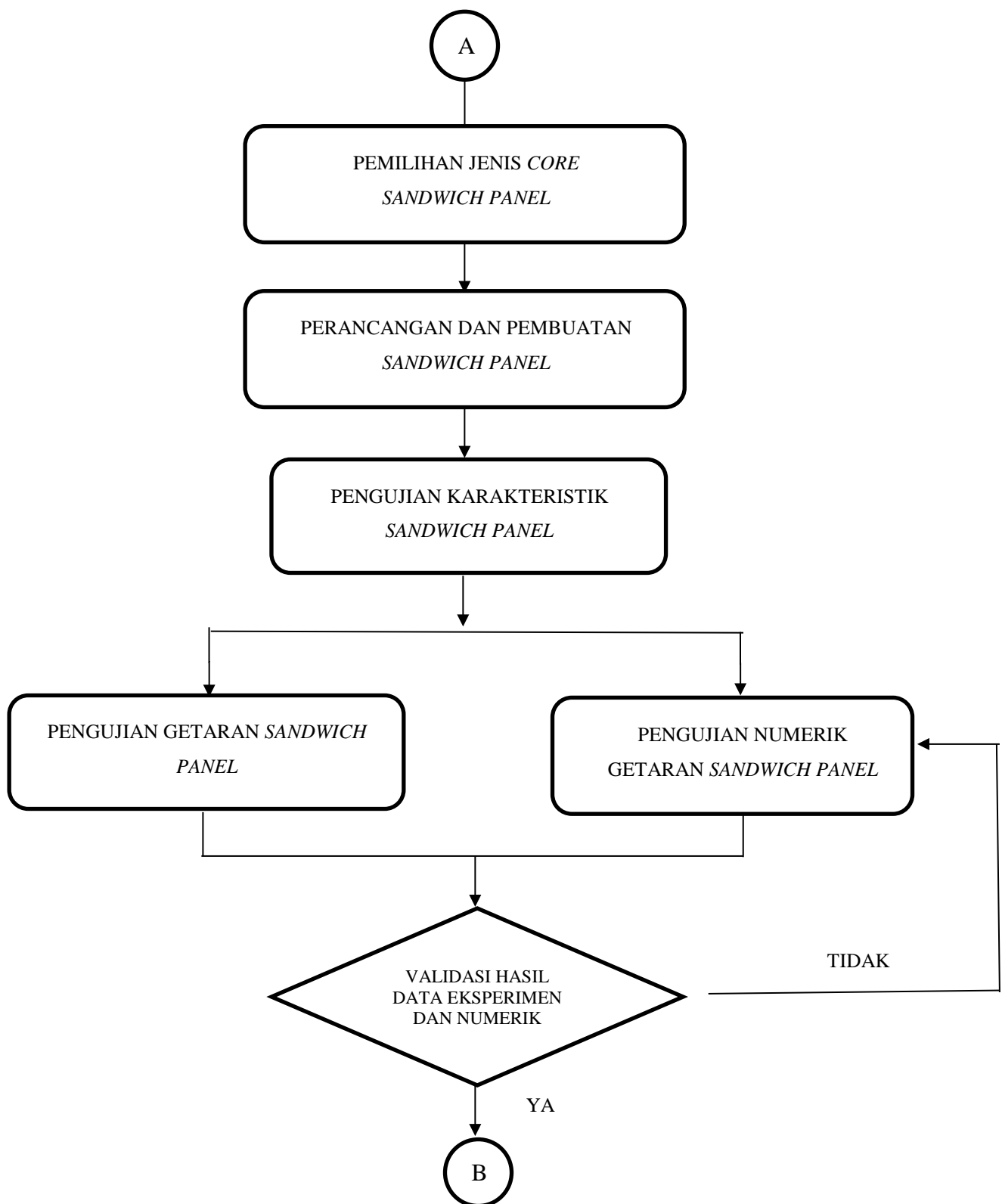
BAB III

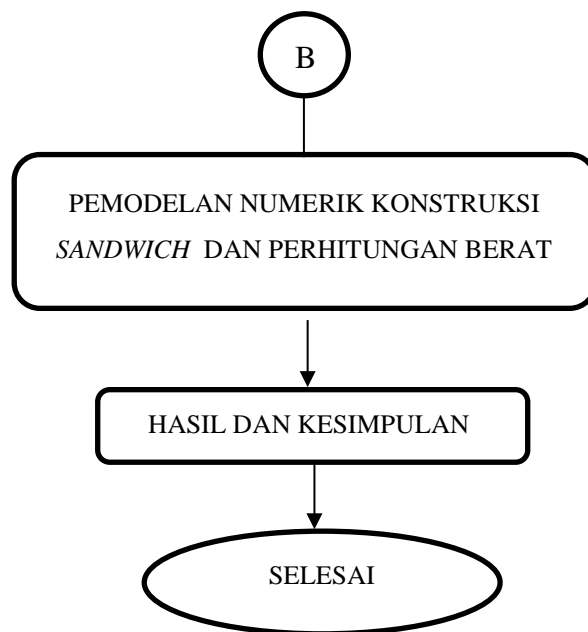
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Metodologi yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat dalam diagram Gambar 3. 1.







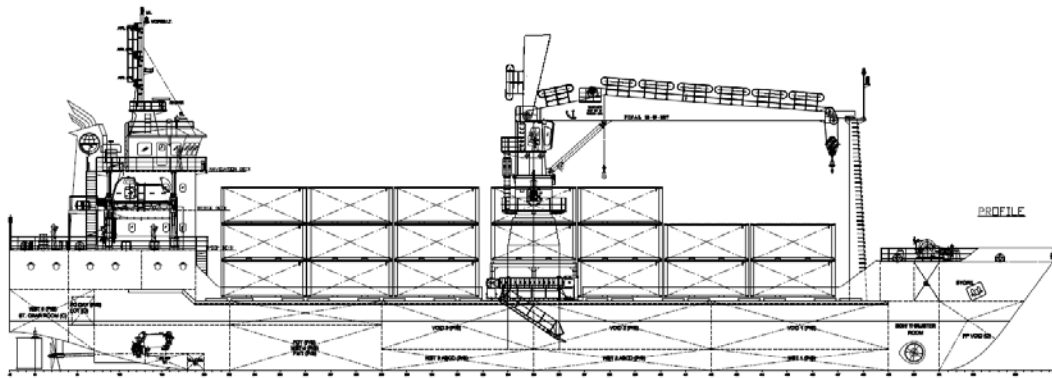
Gambar 3. 1 Bagan alir rencana penelitian

3.2 Studi Literatur

Dalam tahap ini, penulis mencari sumber informasi yang berkaitan dan mendukung penelitian, seperti buku, *paper*, hasil penelitian, hasil seminar dan lain-lain.

3.3 Pengumpulan Data Awal

Pada tahap ini, penulis mengumpulkan data yang dibutuhkan untuk penelitian. Termasuk data-data komposisi tentang komposisi dari cangkang kerang, data hasil penelitian yang relevan dengan penelitian ini yang telah dilakukan sebelumnya. Dan juga pada tahap ini dilakukan pengumpulan data awal kapal yang akan disimulasikan untuk memakai *sandwich panel*. Kapal yang akan digunakan pada penelitian ini adalah kapal kontainer. Pada Gambar 3. 2, dapat dilihat rencana umum kapal kontainer yang akan diteliti.



Gambar 3. 2 Rencana umum kapal container

Pada penelitian ini kapal yang akan diteliti penggunaan *sandwich panel* pada konstruksinya, memiliki ukuran utama pada

Tabel 2. 8.

Tabel 2. 8 Ukuran utama kapal kontainer

Keterangan	Ukuran
<i>Type</i>	<i>Container Ship</i>
<i>Length Over All, (LOA)</i>	74.05 meter
<i>Length Between Perpendicular, (LPP)</i>	69.20 meter
<i>Breadth, (B)</i>	17,20 meter
<i>Height, (H)</i>	4.90 meter
<i>Draught, (T)</i>	3.50 meter
<i>Design Sea Speed, (Vs)</i>	12 knot
<i>Complement</i>	25 orang
<i>Mean Engine</i>	2 x 1.550 HP

3.4 Identifikasi *Core Material*

Setelah melakukan pengumpulan data awal, langkah selanjutnya adalah identifikasi variasi inti (*core*) dari *sandwich*, dimana pada tahap ini dilakukan untuk mendapatkan komposisi terbaik untuk material inti yang digunakan dan mendapatkan karakteristik material. Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah *Unsaturated Polyester Resin* (UPR) dan cangkang kerang yang telah dihaluskan dan telah dilakukan perlakuan khusus (*treatment*) pada serbuk serta katalis sebagai bahan pengering dan juga pewarna. Pengujian komposisi serbuk

kerang juga dilakukan untuk mengetahui kandungan yang ada dalam serbuk kerang. Pengujian pada serbuk kerang dilakukan dengan metode *X-Ray Flourescence* (XRF). Adapun tahapan identifikasi *filler core material* yang akan dipakai yaitu :

1. Proses pengeringan dilakukan untuk memastikan bahwa serbuk cangkang kerang yang akan dipakai memiliki tingkat kekeringan yang tinggi. Proses pengeringan dilakukan dengan bantuan oven, seperti terlihat pada Gambar 3.
3. Proses pengeringan ini dilakukan selama 8 jam dengan suhu 110° celcius.



Gambar 3. 3 Pengeringan dengan menggunakan oven

Setelah melakukan proses pengeringan dengan bantuan oven, langkah selanjutnya adalah penimbangan, seperti terlihat pada Gambar 3. 4, dimana penimbangan ini bertujuan untuk mengukur massa dari serbuk cangkang kerang setelah dilakukan pengeringan.



Gambar 3. 4 Penimbangan setelah pengeringan

2. Pengayakan

Pada tahap ini, serbuk cangkang kerang dilakukan proses pengayakan atau penyaringan untuk mendapatkan serbuk kerang yang halus. Pengayakan dilakukan dengan bantuan mesin, pada proses ini dilakukan pemisahan berdasarkan ukuran partikel daripada serbuk cangkang kerang. Pada penelitian ini digunakan ukuran mesh yaitu ukuran mesh 30,40,50,100 dan 200, seperti terlihat pada Gambar 3. 5.



Gambar 3. 5 Proses pengayakan dengan berbagai ukuran mesh

3. Uji komposisi

Uji komposisi dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia daripada serbuk cangkang kerang yang akan digunakan. Pengujian komposisi dilakukan dengan metode *X-Ray Fluorescence (XRF)*.

Pada penelitian ini, *core* yang diteliti merupakan kombinasi antara resin dengan serbuk cangkang kerang sebagai *filler* atau isian, adapun perbandingan antara resin dengan serbuk cangkang kerang dapat dilihat pada Tabel 3. 1, dimana perbandingan antara resin dengan serbuk cangkang kerang adalah perbandingan

berat. Pada Tabel 3. 1 dapat dilihat penggunaan katalis sebanyak 1% dari berat resin. Pada penelitian ini terdapat enam variasi persentase serbuk cangkang kerang sebagai *filler* dalam resin yaitu 0%, 10%, 20%, 30%, 35%, dan 40%.

Tabel 3. 1 Perbandingan berat resin dengan serbuk cangkang kerang

No	Core Combination		Estimated Weight		
	Resin (%)	Clam Shell Powder (%)	Resin (g)	Clam Shell Powder (g)	Catalyst 1% (g)
1	100	0	1000	0	10
2	90	10	900	101	9
3	80	20	800	202	8
4	70	30	700	303	7
5	65	35	650	353.5	6.5
6	60	40	600	404	6

Pada penelitian ini, pembuatan *core* untuk spesimen uji dilakukan dengan beberapa tahap langkah yaitu :

1. Penimbangan

Tahap pertama yaitu penimbangan, seperti terlihat pada Gambar 3. 6, semua bahan baku untuk pembuatan *core* harus ditimbang sesuai dengan persentase pada Tabel 3. 1.



Gambar 3. 6 Ilustrasi penimbangan resin dan serbuk cangkang kerang

2. Pencampuran

Pencampuran dilakukan setelah semua bahan baku ditimbang, pencampuran dilakukan dengan bantuan *mixer* atau pengaduk, seperti terlihat pada Gambar 3. 7. Tahap pertama dalam pencampuran yaitu menempatkan resin dan serbuk cangkang kerang dalam satu wadah, kemudian dilakukan pengadukan dengan bantuan *mixer* selama kurang lebih lima menit hingga tercampur rata. Langkah selanjutnya yaitu penambahan katalis seberat 1% dari berat resin, dan diaduk selama satu menit hingga campuran merata.



Gambar 3. 7 Proses pengadukan material inti

3. Pencetakan dan Kontrol

Tahap terakhir pada proses pembuatan *core* untuk pengujian yaitu pencetakan dan kontrol. Adonan atau campuran yang ada dituang pada cetakan atau *moulding* yang telah dibuat, seperti terlihat pada Gambar 3. 8, proses penuangan adonan ke dalam cetakan untuk spesimen uji tarik. Kontrol dilakukan untuk memastikan bahwa adonan atau campuran dapat mengering dengan sempurna. Proses pengeringan dilakukan selama 24 jam, hingga benar-benar kering dan mengeras. Setelah kering dan mengeras maka dilakukan pelepasan dari cetakan.



Gambar 3. 8 Proses penuangan dan pencetakan

3.5 Pengujian Karakteristik *Core*

Pada tahap pengujian karakteristik dilakukan untuk mengetahui karakteristik *core*. Adapun tahap dari pengujian karakteristik dari *core* sebagai berikut :

3.5.1 Pengujian Massa Jenis *Core*

Pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui nilai massa jenis dari *core material* yang akan digunakan Lloyd's Register (2015) menetapkan standarisasi massa jenis untuk penggunaan jenis *core material* adalah $\geq 1.000 \text{ kg/m}^3$ sebagai syarat dari *class* untuk digunakan sebagai sistem konstruksi di kapal. Pengujian massa jenis dilakukan pada seluruh jenis komposisi *core material*. Gambar 3. 9 menunjukkan pengujian massa jenis pada *core material* sebelum dilakukan pembentukan spesimen uji tarik.



Gambar 3. 9 Pengujian massa jenis *core*

Gambar 3. 9 menunjukkan proses pengujian massa jenis *core material* dalam bentuk *solid*, dimana berat material inti dilakukan sebelum dilakukan pembentukan spesimen pengujian tarik untuk semua jenis variasi *core material*.

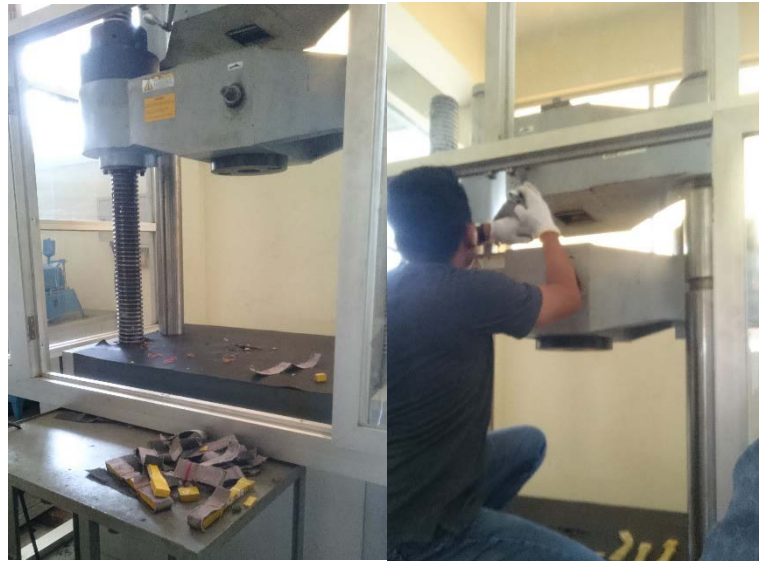
3.5.2 Pengujian Kekuatan Tarik Core

Pengujian kekuatan tarik *core material* selain bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan dari setiap jenis *core material*. Pengujian akan menghasilkan nilai batas kekuatan material sampai dengan bentuk kegagalan material. Pengujian kekuatan tarik pada penelitian ini dilakukan pada alat uji tarik UTM (*Universal Testing Machine*) dengan kapasitas maksimum beban mencapai 100 Ton.



Gambar 3. 10 Proses pencetakan spesimen uji tarik

Spesimen dalam pengujian tarik ini sesuai dengan standar ASTM D638, seperti pada penjelasan bab sebelumnya. Pembentukan spesimen uji tarik pada penelitian ini dilakukan dengan cara *moulding* atau pencetakan, seperti pada Gambar 3. 10. Cetakan untuk spesimen uji tarik berbahan material *medium density board* , dimana pembuatan cetakan ini menggunakan mesin CNC sehingga ketelitian dimensi spesimen tinggi.



Gambar 3. 11 Pengujian tarik *core material*

Gambar 3. 11 menunjukkan pengujian tarik *core material* bentuk *solid* dengan menggunakan alat uji UTM. Pemilihan *core material* ditentukan berdasarkan nilai kekuatan tarik material yang diikuti dengan pengamatan fisik mengenai bentuk kegagalan dari setiap jenis *core material*, dengan nilai kekuatan material tidak kurang dari kriteria nilai yang ditetapkan oleh Lloyd's Register (2015).

3.5.3 Pengujian Kekerasan (*Hardness Test*)

Pengujian kekerasan (*hardness test*) berdasarkan standard DIN 53505, menggunakan alat durometer Shore D. Proses pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar 3. 12, dimana alat ditekan tegak lurus terhadap permukaan spesimen dan ditahan selama 3 detik. Adapun untuk syarat benda yang akan diuji yaitu :

- Permukaan uji harus datar
- Permukaan uji harus bersih dari lapisan-lapisan lain yang mungkin mempengaruhi kekerasan material
- Permukaan material dan benda penguji (*indenter*) diusahakan membentuk bidang tegak lurus

- Beban penguji harus memiliki harga kekerasan yang lebih besar dari material yang ingin diuji agar tidak terjadi deformasi plastis pada benda penguji.
- Pengujian dilakukan beberapa kali di beberapa tempat agar nilainya lebih mewakili dari seluruh permukaan.



Gambar 3. 12 Pengujian kekerasan dengan Durometer Shore D

3.5.4 Pengujian Tekan (*Compressive Test*)

Pengujian tekan atau *compressive test* dilakukan untuk mengetahui seberapa kuat material menerima beban tekan. Pengujian ini dilakukan dengan bantuan alat *compressive test* seperti pada Gambar 3. 13. Dimensi spesimen seperti yang diterangkan pada bab sebelumnya, bentuk spesimen pada penelitian ini adalah silinder dengan dimensi panjang 25.4 mm, dan diameter 12.7 mm.



Gambar 3. 13 Mesin uji *compressive test*

Berikut ini adalah prosedur pengujian tekan pada material:

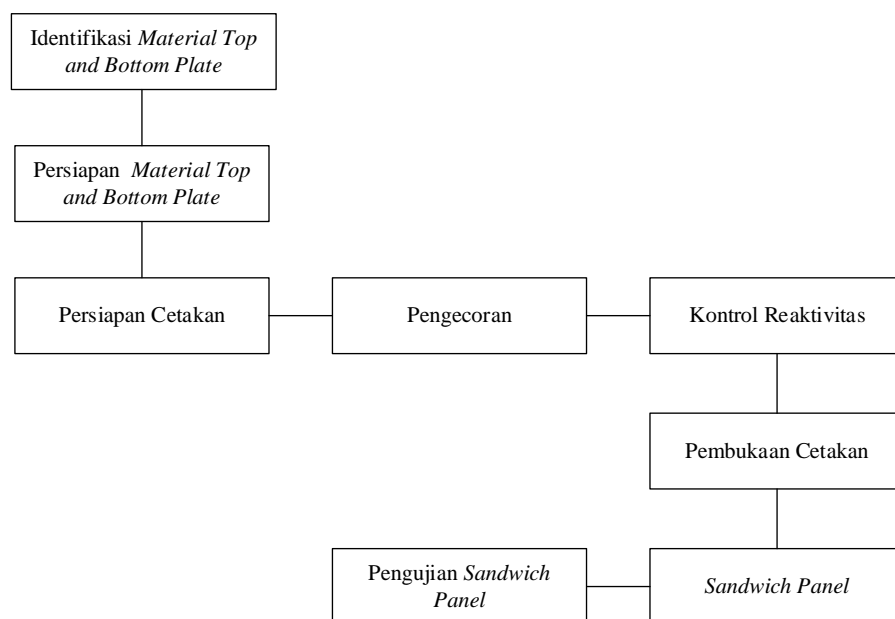
- Ukur dan catat panjang, lebar serta tinggi sampel yang akan diuji.
- Letakkan sample pada permukaan mesin uji tekan, pastikan sampel dalam kondisi lurus, tidak miring, serta berada tepat ditengah area pembebanan.
- Atur permukaan alat penekan pada mesin hingga bersentuhan dengan permukaan sampel.
- Berikan beban tekan pada material hingga material mengalami deformasi atau hingga patah.

3.6 Pemilihan Jenis *Core Sandwich Panel*

Pemilihan jenis *core* atau inti yang akan digunakan dan diaplikasikan pada *sandwich* dilakukan setelah pengujian karakteristik *core*. Pada pemilihan jenis atau komposisi *core* ini dipilih dua komposisi dengan *mechanical properties* terbaik.

3.7 Metode Pembuatan *Sandwich Panel*

Sebagai landasan untuk mudah dipahami berikut ini ditunjukkan skema metode pembuatan *sandwich panel* yang ditunjukkan pada Gambar 3. 14 sebagai berikut.



Gambar 3. 14 Skema metode pembuatan *sandwich panel*

Gambar 3. 14 menunjukkan skema langkah dalam pembuatan *sandwich panel*, yang dimulai dari identifikasi jenis material yang digunakan, dilanjutkan dengan kalkulasi ketebalan setiap lapisan yang akan dibuat sesuai dengan perhitungan LR dan dilanjutkan pada proses pekerjaan fisik pembuatan *sandwich panel* sampai dengan persiapan spesimen untuk pengujian eksperimen. Berikut ini dijelaskan tahapan pekerjaan yang dilakukan dalam pembuatan *sandwich panel*.

3.7.1 Identifikasi Material *Top and Bottom Plate*

Identifikasi material *top and bottom plate* dilakukan untuk mengetahui jenis material dan ketebalan baja yang digunakan dengan menggunakan standar *Provisional Rules for The Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure* (2015). Dengan melakukan proses perhitungan yang ada maka didapatkan ukuran ketebalan daripada pelat yang digunakan. Pada penelitian ini berdasarkan perhitungan *rules* didapatkan tebal pelat 4 mm dan tebal *core* 15 mm.

3.7.2 Persiapan Material *Top and Bottom Plate*

Material *top and bottom plate* yang sebelumnya telah diidentifikasi, selanjutnya disiapkan untuk dipasang pada cetakan sebagai material dari *sandwich panel*. Sebelum material *plate* dipasang, terlebih dahulu *plate* dipotong menyesuaikan dimensional spesimen uji. Setelah pemotongan *plate* dilakukan, selanjutnya dilakukan pembersihan permukaan *plate* dengan *wire brush* hingga permukaan menjadi lebih halus dan bersih dari sebelumnya dan karat yang ada juga hilang.



Gambar 3. 15 *Plate* yang telah dilakukan *brushing*

3.7.3 Persiapan Cetak *Sandwich Panel*, Pengecoran dan Kontrol Reaktivitas

Pembuatan material *sandwich panel* diperlukan persiapan dalam hal bahan baku dan cetakan yang akan membentuk material *sandwich panel*. Bahan baku yang dipersiapkan pada tahap ini adalah *unsaturated polyester resin* (UPR), serbuk cangkang kerang, katalis, pewarna yang digunakan untuk *core*, dan beberapa peralatan pendukung lainnya, metode yang digunakan adalah pengecoran pada lapisan material inti (*core*) diantara kedua material baja sebagai *top and bottom plate*.



Gambar 3. 16 Bahan untuk pembuatan *core*

Pada Gambar 3. 16 dapat dilihat beberapa bahan yang digunakan untuk pembuatan *core* atau inti daripada *sandwich panel* yang akan dibuat. Tahap selanjutnya yaitu proses penakaran dan penimbangan sesuai dengan persentase yang ada, yaitu perbandingan massa antara resin dengan serbuk cangkang kerang.



Gambar 3. 17 Poses penimbangan dan pengadukan campuran

Pada Gambar 3. 17 bisa dilihat proses penimbangan dan pengadukan pada material inti yang akan dituangkan kedalam cetakan. Proses pembuatan *core* atau inti ini dilakukan dengan cara mencampur semua bahan pada satu tempat, dimana bahan-bahan yang ada ditakar sebelumnya sesuai dengan persentase berat yang ada. Pada tahap ini penggunaan katalis sebagai pengeras yaitu seberat 1% dari berat resin. Bahan-bahan yang ada kemudian diaduk menggunakan pengaduk atau *mixer* selama lima menit hingga material tercampur rata.



Gambar 3. 18 Persiapan pencetakan

Pada Gambar 3. 18 dapat dilihat persiapan pencetakan sebelum dilakukan pengecoran, agar terjadi daya *adhesive* atau rekatan antara pelat dengan inti, maka sebelum dilakukan pengecoran dilakukan proses pengeleman pada permukaan dalam pelat. Pengeleman dilakukan dengan lem epoxy seperti pada Gambar 3. 19, setelah lem epoxy setengah kering, ± 30 menit, maka proses selanjutnya adalah pengecoran dengan menuang adonan kedalam cetakan.



Gambar 3. 19 Lem epoxy

Pada Gambar 3. 20 dapat dilihat cetakan yang telah diisi dengan material inti. Proses selanjutnya adalah kontrol reaktivitas dan proses pengeringan. Dalam proses pengeringan, material inti akan bereaksi kimia karena bahan-bahan telah dicampur menjadi satu, dalam prosesnya material inti menjadi sangat panas sebelum benar-benar mengering. Proses pengeringan ini membutuhkan waktu 24 jam hingga material menjadi kering dan menyatu dengan pelat yang digunakan.



Gambar 3. 20 Pengecoran *core* pada pelat

3.7.4 Pembukaan Cetakan

Proses pembukaan cetakan *sandwich panel* dilakukan setelah 24 jam, kertas yang mengelilingi cetakan dilepas semua. Seperti pada Gambar 3. 21, *sandwich* yang telah dilakukan pelepasan kertas dan siap untuk dilakukan pengujian.



Gambar 3. 21 *Sandwich* yang telah dilakukan pelepasan kertas

3.8 Metode Identifikasi *Sandwich Panel*

Identifikasi *sandwich panel* selain dilakukan untuk mengetahui perubahan karakteristik material penyusun dari adanya penggabungan komponen material, juga dilakukan untuk mengetahui seberapa besar batas nilai tegangan yang akan menghasilkan kegagalan pada material *sandwich panel*. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu pengujian densitas dan pengujian lentur.

3.8.1 Pengujian Massa Jenis *Sandwich Panel*

Pengujian densitas atau massa jenis dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan nilai massa jenis dari material *sandwich panel* yang terdiri dari lapisan pelat dan *core*. Standardisasi pengujian mengacu pada pengujian densitas ISO 845. Nilai massa jenis yang dihasilkan nantinya akan menjadi faktor pengali untuk mendapatkan nilai berat dari pengaplikasian material *sandwich panel* pada konstruksi kapal. Gambar 3. 22 menunjukkan material *sandwich panel* dilakukan pengujian densitas dengan menimbang berat dari material tersebut.



Gambar 3. 22 Pengujian densitas material *sandwich panel*

3.8.2 Pengujian Lentur (*Flexural Test*) *Sandwich Panel*

Pengujian lentur dilakukan sebagai salah satu syarat dari *rules* yang telah mengatur. Standardisasi pengujian menggunakan ASTM C 393 yang merupakan standardisasi pengujian lentur untuk bentuk material *sandwich*. Gambar 3. 23 merupakan proses pengujian lentur pada material *sandwich panel*.

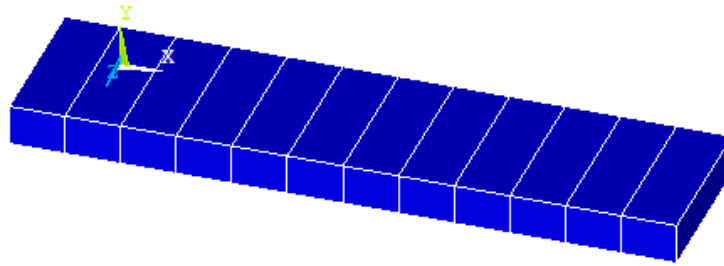


Gambar 3. 23 Pengujian lentur pada material *sandwich panel*

Pada Gambar 3. 23 alat pengujian yang digunakan adalah mesin uji tarik yang diberikan tambahan dudukan untuk dapat dilaksanakan pengujian lentur pada material *sandwich panel*. Pengujian lentur dilakukan pada beberapa spesimen dari setiap hasil variasi komposisi material inti dari *sandwich panel* yang telah dikalkulasikan sebelumnya. Hasil dari pengujian ini adalah pola bentuk grafik hubungan antara tegangan lentur yang dihasilkan dengan *deflection* yang terjadi pada spesimen.

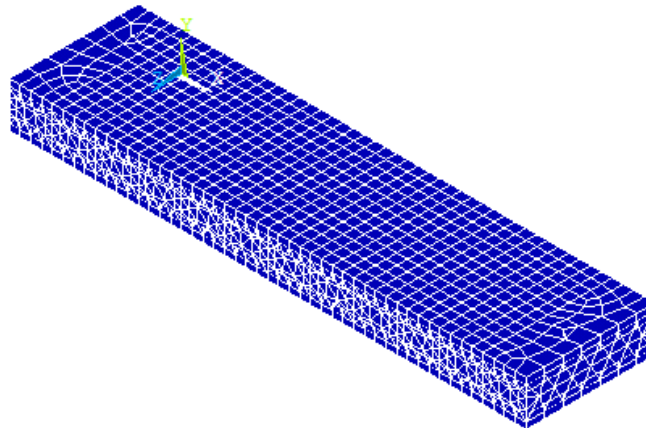
3.9 Pemodelan Getaran *Sandwich Panel*

Pemodelan *sandwich panel* pada uji getaran penelitian ini menggunakan *finite element modelling*. Model *sandwich panel* ini akan dilakukan proses analisa *modal analysis* untuk mengetahui karakteristik dinamika material tersebut dari proses. Gambar 3. 24 merupakan model *sandwich panel* dengan menggunakan *finite element software*



Gambar 3. 24 Pemodelan *sandwich panel* pada *software*

Pemodelan yang dibuat memiliki ukuran seperti pada pengujian getaran yaitu berdimensi panjang 245 mm dan lebar 60 mm.



Gambar 3. 25 Model elemen pada *software*

Pada Gambar 3. 25 terlihat model yang telah dilakukan proses *meshing*. Proses *meshing* yaitu proses untuk membagi model menjadi elemen-elemen sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan.

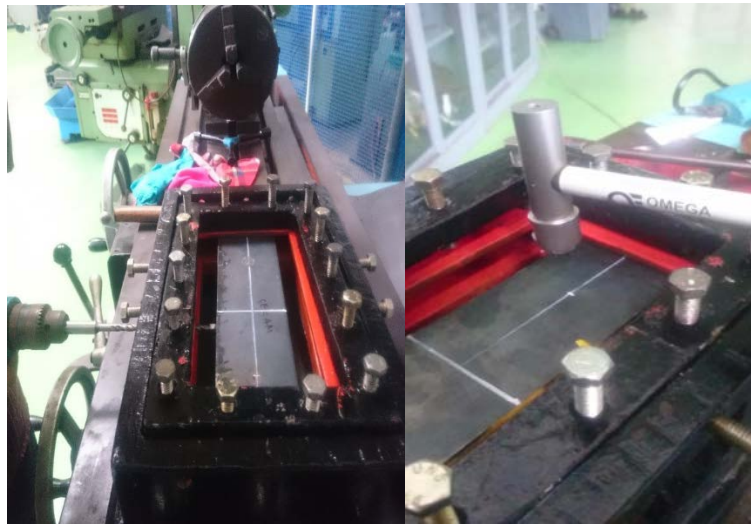
3.10 Pengujian Getaran

3.10.1 Persiapan Pengujian

Tahap persiapan yang dilakukan untuk pengujian getaran adalah dengan menambahkan peralatan pendukung untuk memberikan kondisi spesimen uji dapat dikondisikan seperti pada kondisi lapangan yaitu pelat yang dilas (jepit) pada kedua ujungnya, dimana struktur yang ditambahkan tidak merubah hasil dari

pengujian. Dengan kondisi laboratorium pengujian yang ada, maka dibuat dudukan untuk spesimen uji yang terbuat dari baja dengan tebal 10 – 25 mm.

Dudukan ditempatkan pada mesin *fraise* yang diikat dengan baut M16 sebanyak 6 buah. Pada bagian tengah dudukan dibuat lubang yang berfungsi sebagai lokasi untuk membuat cacat atau retak pada *core* dengan menggunakan mesin bor tangan. Perlu menjadi perhatian adalah pengencangan baut dapat merubah proses identifikasi hasil pengujian. Gambar 3. 26 menggambarkan dudukan yang digunakan dalam pengujian getaran material *sandwich panel*.



Gambar 3. 26 Proses uji getaran

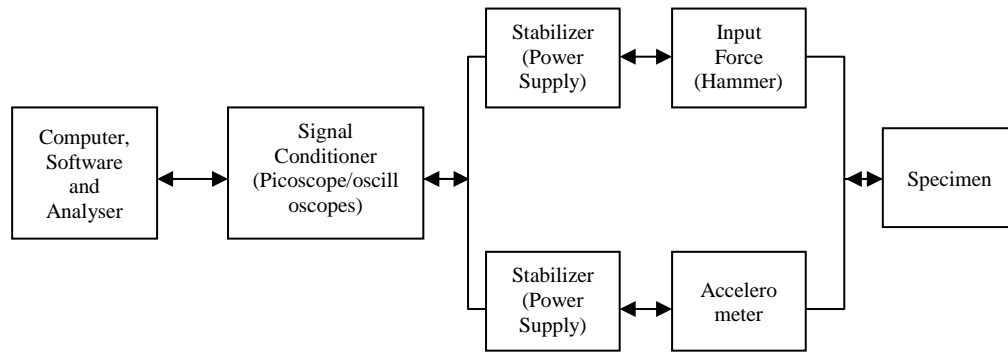
3.10.2 Pengujian Getaran *Sandwich Panel*

Proses untuk melakukan pengujian getaran diawali dengan pengaturan peralatan yang akan digunakan untuk identifikasi hasil pengujian getaran. Peralatan yang digunakan antara lain.

- Sumber daya : Laptop *Asus X550D*
- *Analyser* : Software *PicoScope 6 ver 6.11.12.1692*
- *Hammer* : Omega *IH 101-1K*

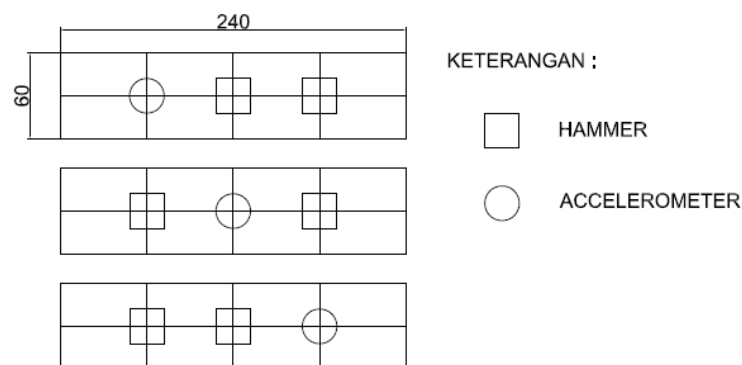
Pengujian ini menggunakan *Experiment Modal Analysis* dengan metode *impact input* dan *piezoelectric accelerometer*. Pada Gambar 3. 27 menggambarkan bagan

alur pengujian untuk mendapatkan karakteristik dinamis dari material *sandwich panel*.



Gambar 3. 27 Skema pengujian getaran

Pengujian getaran *panel* ini adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik dinamis dari material *sandwich panel* itu sendiri. Pada pengujian ini dilakukan pengambilan data untuk setiap posisi *hammer* minimal sebanyak 16 kali. Pukulan pada *hammer* harus di *setting* sedemikian rupa, sehingga data dapat diolah oleh *software*. Ketika pukulan terlalu keras maka data akan menjadi tidak terhingga nilainya, namun ketika terlalu pelan maka data tidak dapat terekam.



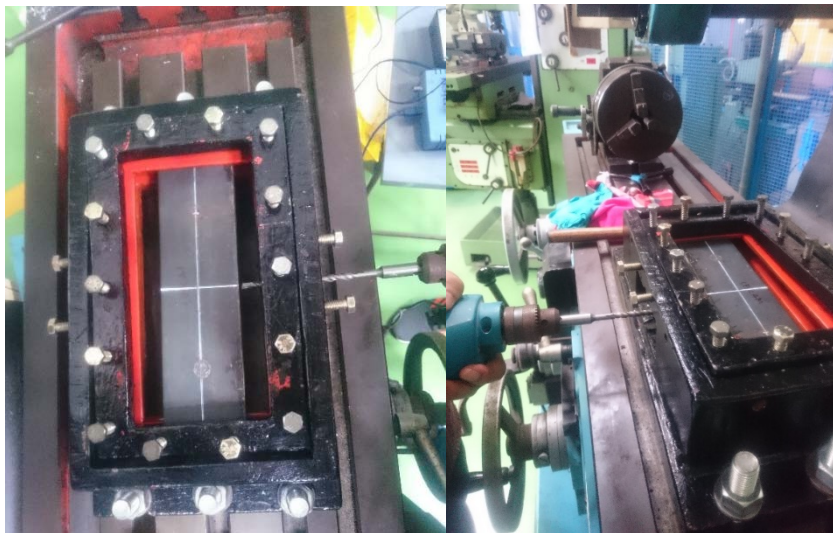
Gambar 3. 28 Ilustrasi pengambilan data

Pada Gambar 3. 28 adalah ilustrasi pengambilan data pada pengujian getaran ini. Pertama-tama, panel diberi garis pada tengah spesimen seperti diatas, persegi menunjukkan posisi eksitasi *hammer* pada panel sedangkan lingkaran menunjukkan

posisi *accelerometer*. Posisi pengambilan data diatas diambil sebanyak mungkin agar *mode* getaran yang terjadi pada panel dapat terambil datanya pada pengujian ini.

3.10.3 Pembuatan Cacat pada *Sandwich Panel*

Pada tahap ini dilakukan pembuatan cacat (*crack*) pada bagian *core* dengan bentuk sesuai dengan kerusakan yang terjadi pada saat dilakukan pengujian lentur yaitu dengan kerusakan pada *core* berbentuk vertikal setinggi 15 mm dengan kedalaman sampai tembus inti material. masing-masing cacat yang dibuat memiliki kedalaman 35 mm. Gambar 3. 29 menggambarkan proses pembuatan cacat pada *core* dari material *sandwich panel*.



Gambar 3. 29 Proses pembuatan cacat pada *sandwich panel*

3.10.4 Proses Pengolahan Data Uji Getaran

Data yang didapat dari pengujian tidak bisa langsung digunakan sebagai bahan analisa. Data harus diolah terlebih dahulu menggunakan teori-teori dan formula yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya. Pada penelitian kali ini penulis mengolah data dengan bantuan *software* matematis. Tahap peratama, data yang terekam pada *analyser* berupa dimensi signal listrik, untuk merubah terhadap dimensi yang lebih familiar maka perlu dilakukan konversi. Konversi pada tahap

ini didapat melalui data sensitifitas dari *accelerometer* dan *hammer* yang digunakan dalam penelitian. Adapun data sensitifitasnya adalah

- *Accelerometer sensitivity* : $\frac{10,32}{9,8} mV/ms^2$
- *Hammer sensitivity* : $1,14877737 mV/N$

Kemudian untuk mempermudah analisa hasil, percepatan sebagai *output* pada *accelerometer* dikonversi menjadi *displacement* atau perubahan menggunakan formula (3.1) berikut ini.

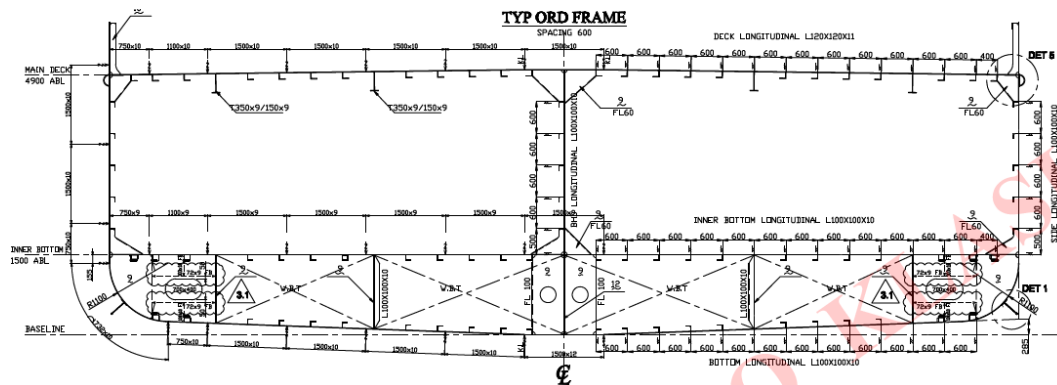
$$x = \frac{a}{2\pi^2 f^2} \quad (3.1)$$

Formula *Fourier Transform* digunakan pada data, *force* yang digunakan harus memenuhi hingga frekuensi yang akan diidentifikasi, apabila tidak memenuhi dilakukan pengujian ulang. Kemudian *spectrum displacement* berdasarkan *frekuensi domain* dapat diidentifikasi dan dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan karakteristik dinamis dari material tersebut. Proses identifikasi frekuensi natural dilakukan setelah data dari frekuensi domain telah diketahui. Menggunakan grafik transfer function sebagai proses awal identifikasi karena merupakan perbandingan dari output dan input. Perlu diperhatikan juga adalah nilai koherensi dari hasil pengujian tersebut. Selanjutnya dapat diidentifikasi peak yang merupakan frekuensi natural berdasarkan perkiraan estimasi dari proses analisa pemodelan.

Jumlah peak yang terdapat pada pengujian terkadang banyak dan sulit dibedakan, maka dilakukan proses verifikasi peak menggunakan sudut fase. *He Jimin* (2001), pada bukunya menyatakan bahwa secara teori, sudut fase pada sebuah mode getaran akan berubah sebanyak -180° . Ini menandakan perubahan drastis dari positif ke negative atau sebaliknya. Jika peak yang diestimasi menunjukkan perubahan sudut fase seperti diatas, maka dapat diambil kesimpulan bahwa peak pada frekuensi tersebut merupakan frekuensi natural dari sandwich panel.

3.11 Perhitungan Berat Konstruksi dan Pemodelan

Perhitungan berat konstruksi kapal dilakukan untuk mengetahui perbedaan berat antara konstruksi konvensional dengan konstruksi dengan model *sandwich*. Konstruksi yang akan diubah menjadi model *sandwich* adalah konstruksi sisi kapal. Perhitungan berat konstruksi dilakukan dengan membandingkan antara berat konstruksi konvensional dengan konstruksi menggunakan model *sandwich*. Dimana pelat sisi yang ada dilakukan inovasi dengan mengganti dengan pelat model *sandwich*. Pada Gambar 3. 30 dapat dilihat *midship section* kapal yang akan diaplikasikan model *sandwich*.



Gambar 3. 30 *Midship section* kapal kontainer

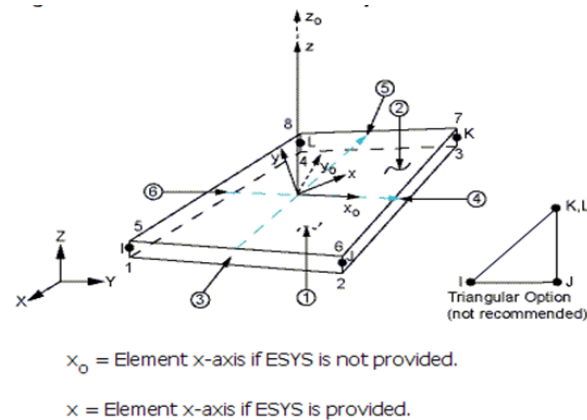
Konstruksi sisi akan dianalisa menggunakan *finite element analysis software* untuk mengetahui tegangan maksimum yang terjadi pada konstruksi konvensional dengan konstruksi *sandwich panel* untuk setiap masing-masing komposisi. Pada pemodelan dengan *finite element analysis software* menggunakan elemen berikut ini :

1. Element Beam189

Elemen BEAM189 cocok untuk menganalisis struktur balok tipis hingga cukup tebal. Elemen ini didasarkan pada teori balok Timoshenko yang meliputi efek geser-deformasi. Elemen ini menyediakan pilihan untuk pembengkokan terkendali dan pembengkokan terkendali lintas-bagian.

Elemen tersebut merupakan kuadratik tiga simpul elemen balok dalam 3-D. Dengan pengaturan standar, enam derajat kebebasan terjadi pada setiap node;

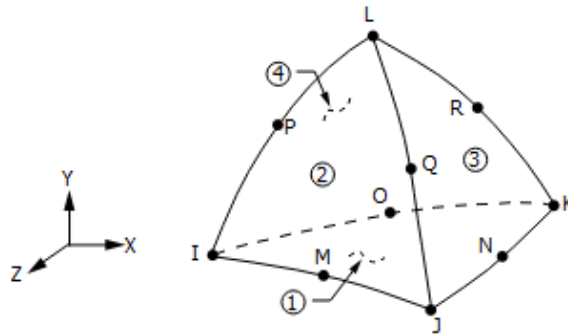
Reissner pelat teori). Formulasi elemen didasarkan pada regangan logaritmik dan kejadian tegangan sebenarnya. Kinematika elemen memungkinkan regangan membran terbatas (peregangan). Namun, perubahan kelengkungan dalam selisih waktu diasumsikan kecil.



Gambar 3. 32 Geometri elemen Shell 181

3. Elemen Solid 187

Elemen SOLID187 adalah elemen 3-D, 10-node yang lebih tinggi. SOLID187 memiliki perilaku perpindahan kuadratik dan sangat cocok untuk pemodelan jajaran atau mesh yang tidak teratur (seperti yang dihasilkan dari berbagai sistem CAD / CAM). Elemen ini didefinisikan oleh 10 node yang memiliki tiga derajat kebebasan di setiap node: dalam arah nodal x, y, dan z seperti terlihat pada Gambar 3. 33. Elemen ini memiliki plastisitas, *hyperelasticity*, *creep*, *stress stiffening*, defleksi besar, dan kemampuan strain yang besar juga memiliki kemampuan formulasi campuran untuk simulasi deformasi bahan elastoplastik hampir inkompresibel, dan bahan *hyperelastic* sepenuhnya.



Gambar 3. 33 Geometri elemen Solid 187

Pada penelitian ini, perhitungan beban menggunakan tekanan air laut, sesuai dengan kondisi beroperasi kapal sesuai dengan perhitungan *rules* Biro Klasifikasi Indonesia, Volume II, Rules for Hull 2016. Pada *rules* BKI Volume II, Section 4, nomor 2.1, diterangkan bahwa beban pada sisi kapal (*load on ship's sides*) dengan notasi P_s dapat ditentukan atau dihitung dengan persamaan 3.2

$$P_s = 10 (T - Z) + P_o \times C_F \times (1 + \frac{Z}{T}) \quad (3.2)$$

Dimana :

T = sarat kapal (m)

Z = *load center* (m)

P_o = *basic external dynamic load* (kN/m²)

C_F = *distribution factor*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Hasil Identifikasi Core Material

Core material yang digunakan merupakan kombinasi material yang umum dipasaran dan digunakan di industri perkapalan dengan material limbah yang banyak ditemukan di lingkungan sekitar. Pemanfaatan material limbah ini merupakan salah satu bentuk inovasi dalam bidang material perkapalan. Material inti atau *core* yang digunakan merupakan kombinasi antara *unsaturated polyester resin* (UPR) dengan material limbah cangkang kerang yang telah diolah menjadi serbuk cangkang kerang.

4.1.1 Identifikasi Core Material

Core sandwich panel yang digunakan merupakan campuran antara *unsaturated polyester resin* dengan material limbah cangkang kerang yang telah diolah menjadi serbuk cangkang kerang. Serbuk cangkang kerang ini merupakan *filler* atau isian pada resin yang digunakan. Perlakuan khusus terhadap serbuk cangkang kerang harus dilakukan karena serbuk cangkang kerang terbuat dari bahan organik yang dapat mengalami proses pembusukan. Perlakuan khusus tersebut antara lain adalah proses pengeringan, proses pengayakan dan proses penelitian kandungan kimia. Adapun hasil dari perlakuan khusus tersebut adalah :

- **Pengeringan**

Proses pengeringan dilakukan di dalam oven selama 8 jam dengan suhu 110⁰ celcius. Serbuk kerang mengalami penurunan massa dibandingkan sebelum dilakukan perlakuan khusus berupa pengeringan dalam oven. Pada saat sebelum dimasukkan dalam oven jumlah massa yaitu 4188.5 gram, setelah mengalami proses pengeringan jumlah massa yaitu 4125 gram seperti terlihat pada Gambar 4. 1. Persentase penurunan jumlah massa pada serbuk kerang yaitu 2%, ini menunjukkan bahwa serbuk cangkang kerang sebelum dilakukan pengeringan masih memiliki kandungan air.



Gambar 4. 1 Berat setelah pengeringan

- Pengayakan

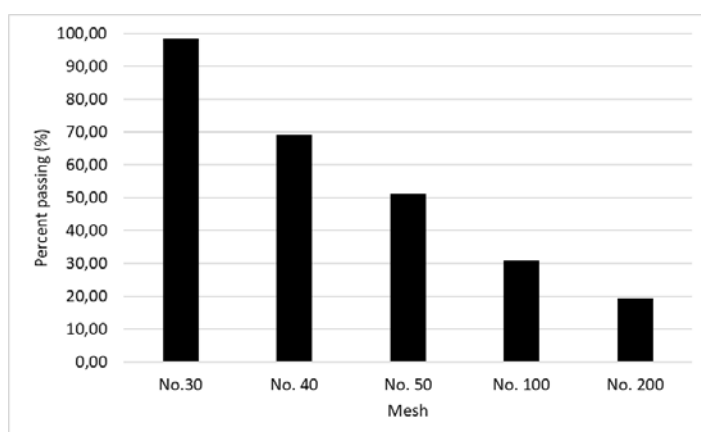
Pengayakan atau penyaringan dilakukan untuk memisahkan serbuk cangkang kerang berdasarkan ukuran partikel, seperti terlihat pada Gambar 4. 2. Pada penelitian ini digunakan ukuran mesh 30, 40, 50, 100 dan 200. Mesh merupakan jumlah lubang dalam ayakan tiap satu inchi persegi, dalam suatu kasus tertulis keterangan lima mesh (5 mesh) maka di dalam satu inchi persegi ayakan terdapat lima lubang. Semakin besar jumlah atau angka mesh maka ukuran lubang menjadi semakin kecil.



Gambar 4. 2 Partikel yang tertinggal dalam ayakan

Di dalam penelitian sebelumnya menerangkan bahwa semakin kecil ukuran partikel atau semakin halus ukuran partikel maka semakin baik ketika menjadi sebuah isian atau *filler* dalam suatu campuran. Semakin halus isian atau *filler*

dapat meningkatkan perpindahan *stress*, karena partikel isian dapat menahan beban yang lebih tinggi. Isian yang halus menyebabkan *area of interfacial* menjadi lebih tinggi. (Yusof and Afifi, 2014).



Gambar 4. 3 Grafik persentase *passing* partikel serbuk cangkang kerang

Pemilihan ukuran partikel juga berdasarkan pada jumlah serbuk yang lolos terhadap ukuran mesh tertentu sehingga tidak banyak serbuk cangkang kerang yang tersisa atau terbuang, pada Gambar 4. 3 dapat dilihat jumlah persentase jumlah partikel yang lolos, dalam satu kilogram serbuk cangkang kerang yang dilakukan pengayakan 98.5% serbuk cangkang kerang lolos mesh 30.

Tabel 4. 1 Persentase partikel sisa setelah pengayakan

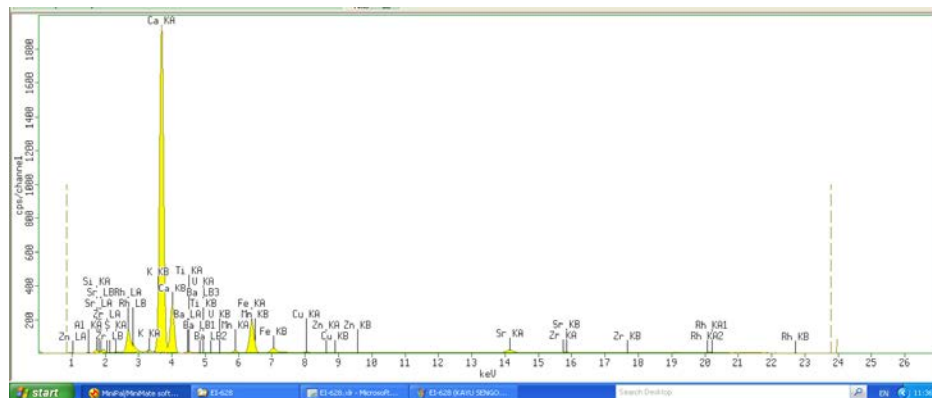
Ø (mm)	# <i>Sieve</i>	<i>Weight of Retained</i>		% <i>Retained</i>	% <i>Passing</i>
		(gr)	(gr)		
0.60	No.30	15.00	15.00	1.50	98.50
0.42	No. 40	294.50	294.50	29.45	69.05
0.30	No. 50	179.00	179.00	17.90	51.15
0.149	No. 100	202.00	202.00	20.20	30.95
0.074	No. 200	117.00	117.00	11.70	19.25
	PAN	192.50	192.50	19.25	0.00

Di dalam penelitian ini, pemilihan ukuran partikel serbuk cangkang kerang tidak hanya dilihat dari isian yang halus akan tetapi juga merujuk pada jumlah

material yang tersisa. Pada Tabel 4. 1 dapat dilihat persentase material yang tertahan dan tersisa, hampir 30.95 % partikel dapat lolos pada mesh 100, sehingga pada penelitian ini dipilih ukuran partikel yang lolos mesh 100.

- Uji *X-Ray Fluorescence* (XRF)

Pengujian komposisi kimia dalam material serbuk cangkang kerang dilakukan untuk mengetahui komposisi pada material serbuk cangkang kerang yang digunakan sebagai isian atau *filler* pada *core sandwich panel*. Pengujian komposisi kimia dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF), merupakan alat yang digunakan untuk menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam suatu sample dengan menggunakan metode spektrometri. XRF umumnya digunakan untuk menganalisa unsur dalam mineral atau batuan. Analisis unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan untuk menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan.



Gambar 4. 4 Spektrum hasil pengujian XRF

Pada Gambar 4. 4 dapat dilihat hasil spektrum dari pengujian XRF pada serbuk cangkang kerang. Pada spektrum terlihat kandungan kalsium atau Ca sangat tinggi, adapapun persentase kandungan bahan lainnya dapat dilihat pada Tabel 4. 2

Tabel 4. 2 Komposisi kimia serbuk cangkang kerang

<i>Compound</i>	<i>Concentration (% weight)</i>
Ca	87.13
Fe	5.24
Si	4.00
Al	1.30
Sr	0.517
K	0.49
Ti	0.45
Mn	0.43
etc	0.423

Pada Tabel 4. 2 dapat dilihat bahwa persentase kalsium atau Ca pada serbuk cangkang kerang mencapai 87.13%, dimana ini menunjukkan bahwa kandungan pada serbuk cangkang kerang paling dominan adalah kalsium. Ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Awang-Hazmi dkk (2007) yang menyatakan bahwa cangkang kerang terbuat dari kalsium. Untuk kandungan lain dari serbuk cangkang kerang yang diteliti adalah senyawa besi (Fe) sebesar 5.24%, silika (Si) sebesar 4% dan lain-lain.

Tabel 4. 3 Perbandingan berat resin dan serbuk cangkang kerang

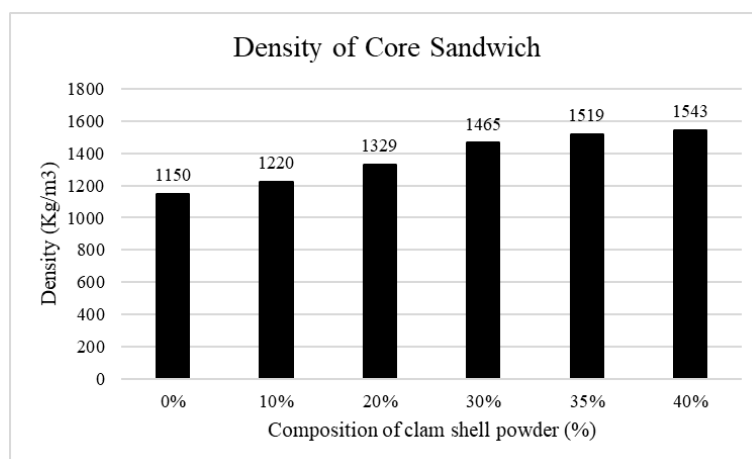
<i>No</i>	<i>Core Combination</i>		<i>Estimated Weight</i>		
	<i>Resin (%)</i>	<i>Clam Shell Powder (%)</i>	<i>Resin (g)</i>	<i>Clam Shell Powder (g)</i>	<i>Catalyst 1% (g)</i>
1	100	0	1000	0	10
2	90	10	900	101	9
3	80	20	800	202	8
4	70	30	700	303	7
5	65	35	650	353.5	6.5
6	60	40	600	404	6

Pada

Tabel 4. 3 dapat dilihat perbandingan antara resin dengan serbuk cangkang kerang. Perbandingan resin dengan serbuk cangkang kerang pada penelitian ini adalah 100%, 90%, 80%, 70%, 65%, dan 60%. Variasi ini dilakukan untuk mendapatkan *material properties* yang terbaik.

4.1.2 Identifikasi Massa Jenis *Core Material*

Pengujian massa jenis atau densitas *core material* dilakukan sesuai dengan standar ISO 845, dimana material yang diuji memiliki volume minimum 100 cm^3 . Adapun hasil daripada pengujian densitas menunjukkan untuk persentase serbuk kerang nol persen memiliki nilai densitas 1150 kg/m^3 , nilai densitas semakin naik dengan bertambahnya *filler* serbuk kerang, pada persentase 40% nilai massa jenis dari *core* naik menjadi 1543 kg/m^3 . Pada Gambar 4. 5 dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya persentase berat serbuk kerang menyebabkan nilai densitas daripada *core sandwich panel* meningkat.



Gambar 4. 5 Nilai densitas *core sandwich panel*

Kenaikan nilai densitas atau massa jenis disebabkan oleh penguatan fisik antara matriks dan pengisi atau *filler* melalui rongga yang terisi, sehingga akan meningkatkan ikatan antar partikel. Karena ruang kosong dari spesimen berkurang, kerapatan menurun dan densitas akan meningkat dengan peningkatan komposisi

pengisi serbuk kerang. Selain itu, komposisi serbuk cangkang kerang yang lebih tinggi akan menambah berat total spesimen yang dihasilkan pada volume yang sama. Secara teoritis, spesimen dipengaruhi oleh kerapatan bahan baku, konsentrasi perekat (matriks) dan aditif lainnya dalam pembuatan spesimen. Hasil pengujian densitas ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hendra et. al (2016) yang menyatakan bahwa, nilai densitas atau massa jenis dari matriks atau resin yang berisi *filler* serbuk cangkang kerang akan meningkat dengan bertambahnya komposisi *filler* pada campuran. Nilai densitas pada penelitian ini untuk semua campuran memenuhi syarat yang diatur oleh LR, dimana minimum nilai densitas yaitu 1000 kg/m^3 .

4.1.3 Pengujian Tarik *Core Material*

Penentuan kekuatan tarik material dilakukan dengan menggunakan pengujian tarik. Sesuai dengan yang telah dijelaskan pada Bab 3, berkaitan dengan standarisasi pengujian tarik berdasarkan ASTM D638. Pengujian tarik menggunakan UTM (*Universal Testing Machine*) yaitu sebuah mesin pengujian untuk menguji tegangan tarik dan kekuatan tekan bahan atau material. Mesin pengujian ini telah terbukti bahwa dapat melakukan pengujian tarik sesuai standar dan tes kompresi pada bahan, komponen, dan struktur.

Cara penggunaan UTM adalah dengan memberikan gaya tekan atau gaya tarik kepada terhadap bahan yang diujikan. Mesin UTM merekam data beban yang diberikan dan perpanjangan yang terjadi hingga material uji patah. Untuk melaksanakan pengujian tekan atau tarik terhadap material, kita memerlukan benda uji yang lainnya. Benda uji itu dipasang pada mesin penguji dengan gaya tekan dan gaya tarik yang akan semakin bertambah besar akhirnya menekan dan menarik pada batang tersebut, maka batang ini akan menjadi pendek atau panjang. UTM akan memberikan informasi mengenai seberapa besar pengukuran yang akan diuji terhadap bahan sehingga standarisasi yang diinginkan dapat tercapai dengan sempurna. Pengujian dilakukan pada setiap komposisi material inti dengan jumlah minimum spesimen uji adalah 5 spesimen.

Pada tahap pertama pengujian, spesimen mengalami patah pada posisi penjepit, dikarenakan material spesimen yang getas dan penjepit yang berbahan baja lebih keras daripada spesimen, seperti terlihat pada Gambar 4. 6 spesimen uji tarik mengalami patah pada daerah penjepit, sesuai standar yang ada, spesimen uji tarik harus patah atau putus pada daerah Gage Length, G, karena ketika spesimen tidak putus pada daerah G, maka hasil pengujian tidak dapat menginterpretasikan kondisi sesungguhnya.



Gambar 4. 6 Spesimen uji tarik patah pada posisi penjepit

Pada percobaan selanjutnya, peneliti melakukan inovasi pada saat pengujian material spesimen dilakukan, yaitu dengan membungkus ujung spesimen dengan kertas gosok ukuran satu, seperti pada Gambar 4. 7. Pembungkusan ujung spesimen dengan kertas gosok bertujuan untuk mengurangi beban penjepit terhadap spesimen, sehingga disaat pengujian tidak patah pada ujung spesimen. Inovasi peneliti ini membuat spesimen dapat patah pada daerah G, ketika dilakukan pengujian seperti pada Gambar 4. 8.



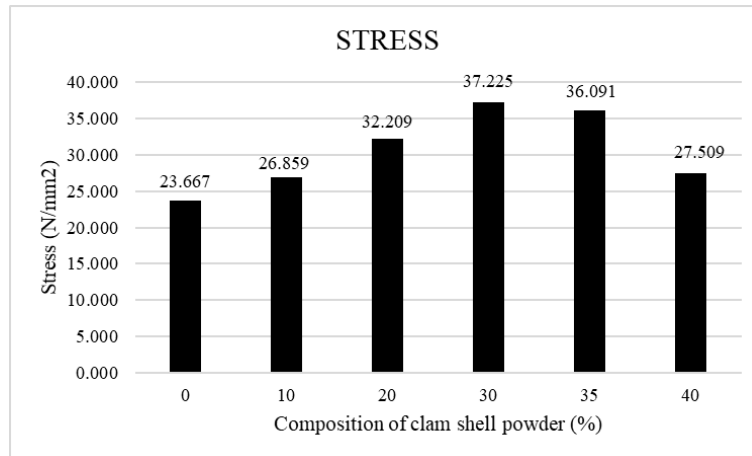
Gambar 4. 7 Ujung spesimen yang dibungkus kertas gosok

Pada penelitian ini hasil dari pengujian tarik yang telah dilakukan menghasilkan bentuk patahan seperti pada Gambar 4. 8. Patahan terjadi pada daerah Gage Length, G. Dalam pengujian tarik yang dilakukan menghasilkan bentuk patahan yang tegak lurus dengan arah tegangan tarik, terlihat pada Gambar 4. 8 bentuk patahan juga tidak terlihat adanya penambahan panjang atau reduksi luas penampang. Ini menunjukkan bahwa benda uji yang diteliti bersifat getas atau *brittle*.



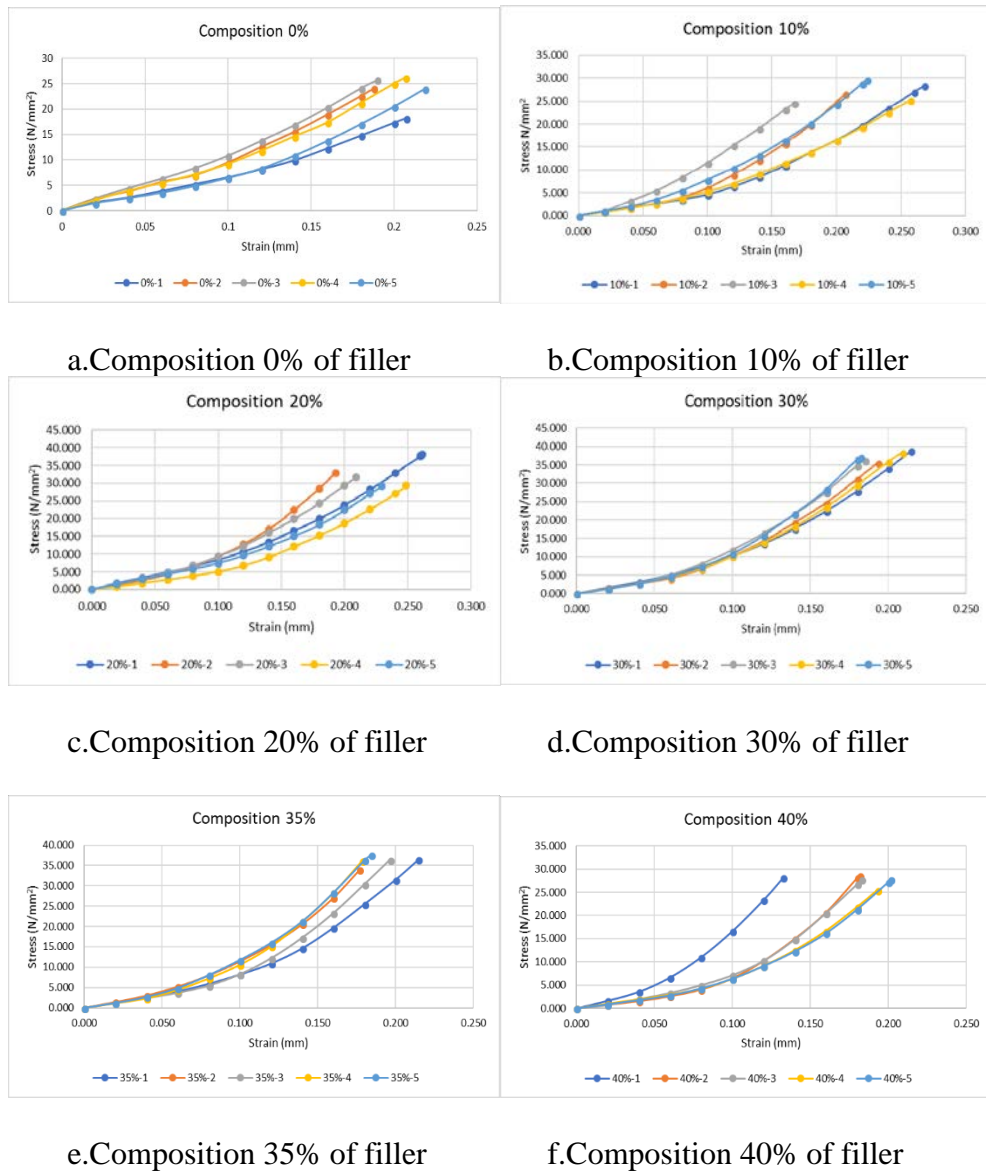
Gambar 4. 8 Bentuk patahan spesimen uji tarik

Pada Gambar 4. 9 dapat dilihat nilai *tensile strength* daripada inti atau *core* mengalami kenaikan dengan bertambahnya persentase jumlah *filler* atau isian serbuk cangkang kerang. Pada *filler* 0% nilai *tensile strength* maksimal adalah 23.667 N/mm², kemudian naik dengan bertambahnya *filler* sampai nilai maksimum pada persentase 30% yaitu bernilai 37.255 N/mm², kemudian nilai *tensile strength* mengalami penurunan hingga persentase 40% yang bernilai 27.509 N/mm².



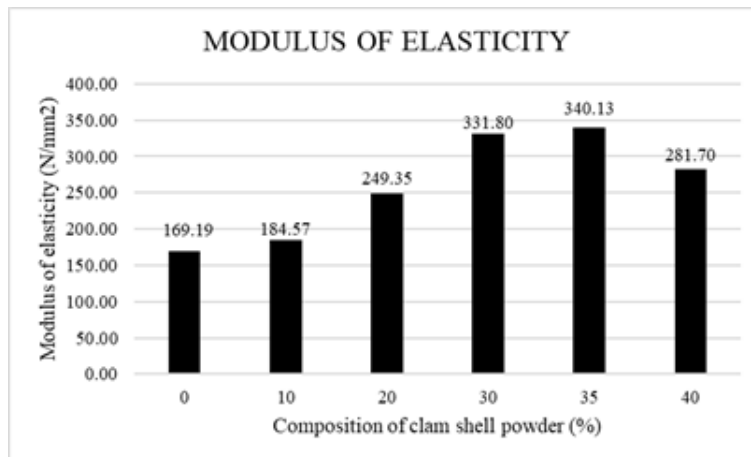
Gambar 4. 9 *Tensile strenght of core sandwich panel*

Kondisi ini terjadi karena serbuk cangkang kerang telah mencapai titik maksium dan akan terjadi algomerasi dari *filler* untuk membentuk partikel yang lebih besar dan membuat kekuatan menjadi lebih rendah dari sebelumnya. *Mechanical strength* atau kekuatan mekanik akan menurun ketika penambahan isian atau *filler* terlalu banyak. Nilai hasil *tensile strength* pada *core sandwich* yang diteliti melebihi syarat minimum yang ditetapkan oleh Lloyd's Register yaitu 20 N/mm².



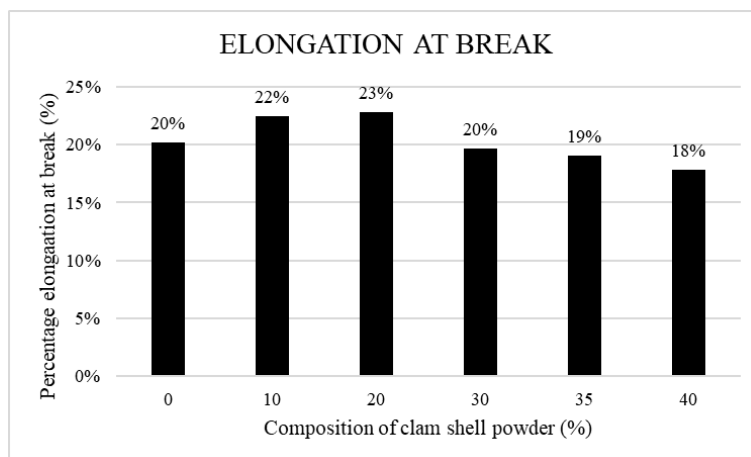
Gambar 4. 10 Grafik *stress-strain core*

Hubungan antara *stress* dan *strain* pada suatu bahan, dihubungkan dengan grafik *stress-strain diagram* seperti pada Gambar 4. 10. Pada Gambar 4. 10 dapat dilihat grafik *stress-strain* masing-masing spesimen yang telah diuji. Pada tiap komposisi memiliki grafik yang berbeda satu dengan yang lainnya. Semakin tegak lurus *trend* garis yang dihasilkan maka semakin besar nilai *tensile strength*.



Gambar 4. 11 Nilai modulus elastisitas masing persentase

Pada Gambar 4. 11 dapat dilihat grafik modulus elastisitas masing-masing persentase campuran, dimana *trend* grafik sama seperti nilai *tensile strength* yaitu naik kemudian turun. Modulus elastisitas campuran 0% menunjukkan nilai 169 N/mm², kemudian naik hingga persentase 35% dengan nilai 340.13 N/mm² setelah itu turun pada persentase 40% dengan nilai modulus elastisitas 281.70 N/mm², ini menunjukkan bahwa persentase 35% memiliki nilai maksimum modulus elastisitas.



Gambar 4. 12 *Elongation at break*

Pada Gambar 4. 12 dapat dilihat persentase *elongation at break* pada masing-masing campuran. *elongation at break*, juga dikenal sebagai strain fraktur, adalah rasio antara panjang yang berubah dan panjang awal setelah kerusakan dari

spesimen uji. Ini mengekspresikan kemampuan untuk menahan perubahan bentuk tanpa formasi retak. Pada penelitian ini nilai *elongation at break* maksimum pada persentase campuran serbuk cangkang kerang 20% dengan nilai 23%, nilai terendah pada campuran 40% dengan nilai 18%. Pada *rules* yang diatur oleh Lloyd's Register mensyaratkan minimum 20% nilai dari *elongation at break*. Pada hasil penelitian ini, persentase nilai *elongation at break* yang memenuhi syarat yaitu persentase 0%, 10%, 20% dan 30%.

Tabel 4. 4 Rekapitulasi hasil pengujian tarik

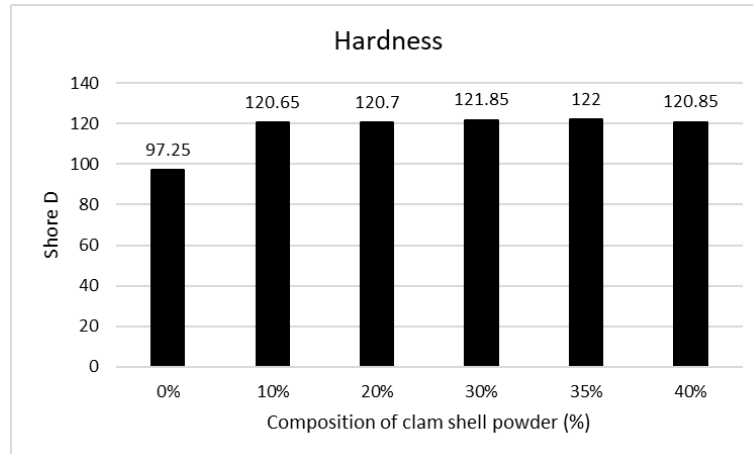
No	Campuran	Stress (N/mm ²)	Modulus (N/mm ²)	Elongation
1	0 %	23.67	169.19	20%
2	10 %	26.86	184.57	22%
3	20 %	32.21	249.35	23%
4	30 %	37.23	331.80	20%
5	35 %	36.09	340.13	19%
6	40 %	27.51	281.70	18%

Pada Tabel 4. 4 dapat dilihat hasil rekapitulasi pengujian tarik yang telah dilakukan, pada penelitian ini diambil dua persentase yang menghasilkan *mechanical properties* yang terbaik, yaitu persentase campuran 20% dan persentase campuran 30% untuk dilakukan pembuatan material *sandwich panel*.

4.1.4 Pengujian Kekerasan (*Hardness Test*)

Pengujian kekerasan atau *hardness test* dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan atau ketahanan terhadap indentasi daripada material inti atau *core sandwich panel* yang didesain. Hasil dari pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4. 13 nilai kekerasan daripada material inti yang telah diuji menunjukkan perbedaan nilai pada tiap komposisi. Pada persentase 0% *filler* menunjukkan nilai 97.25 D kemudian naik hingga persentase 35% *filler* dengan nilai 122 D kemudian turun pada persentase 40% *filler* menjadi 120.85 D, ini menunjukkan bahwa nilai kekerasan pada material mengalami kenaikan dengan

bertambahnya *filler* atau serbuk cangkang kerang hingga mencapai titik puncak kemudian turun nilai kekerasannya. Semua material yang diuji memenuhi syarat minimum Lloyd's Register yaitu 65 D.



Gambar 4. 13 Hasil pengujian kekerasan

4.1.5 Pengujian Tekan (*Compressive Test*)

Pengujian tekan atau *compressive test* dilakukan untuk mengetahui kekuatan inti dalam menerima beban tekan. Pada penelitian ini, pengujian tekan dilakukan sesuai dengan standar ASTM D695. Hasil pengujian tekan ini dapat dilihat pada Tabel 4. 5, hasil pengujian pada tiga komposisi *filler* atau isian, pada persentase 10% nilai *compressive strength* atau kekuatan tekan sebesar 84.655 N/mm², pada persentase 20% *filler* memiliki nilai kekuatan tekan sebesar 86.149 N/mm² dan pada 30% *filler* memiliki nilai kekuatan tekan sebesar 92.366 N/mm². Hasil pengujian menunjukkan dengan bertambahnya *filler* menyebabkan nilai kekuatan tekan menjadi naik.

Tabel 4. 5 Hasil pengujian tekan material inti

No	Presentase	Compressive (N/mm ²)
1	10%	84.655
2	20%	86.149
3	30%	92.366

Pada pengujian tekan yang dilakukan pada penelitian ini, spesimen uji ditekan hingga spesimen tidak dapat melakukan perlawanan gaya lagi, hingga akhirnya spesimen mengalami kerusakan dan menyusutnya dimensinya, seperti terlihat pada Gambar 4. 14, terlihat material spesimen mengalami kerusakan setelah dilakukan pengujian.



Gambar 4. 14 Kondisi spesimen setelah dilakukan pengujian

4.1.6 Analisa Hasil Pengujian Core

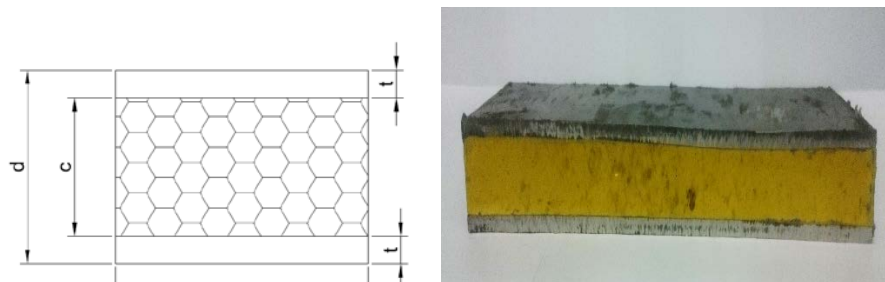
Berdasarkan pengujian *core* yang telah dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan antara lain :

- Nilai densitas atau massa jenis pada *core* bertambah besar seiring dengan bertambahnya persentase *filler* dalam campuran.
- Hasil pengujian tarik menunjukkan beberapa persentase *core* tidak memenuhi minimum syarat yang ditentukan oleh Lloyd's Register.
- Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa material inti yang dibuat telah memenuhi minimum syarat peraturan Lloyd's Register .
- Pengujian tekan yang dilakukan menunjukkan bahwa dengan bertambahnya *filler* bertambah besar pula nilai kekuatan tekan yang dimiliki material.
- Pemilihan persentase *filler* yang akan diaplikasikan pada *sandwich panel*, sesuai dengan hasil pengujian yang telah dilakukan, diambil dua persentase

filler yang menghasilkan *mechanical properties* terbaik yaitu persentase 20% dan 30%.

4.2 Analisa Hasil Identifikasi Material *Sandwich Panel*

Identifikasi material *sandwich panel* dilakukan untuk mengetahui *material properties* serta perubahan bentuk karakteristik material dari kondisi setiap material penyusunnya. Hasil dari perhitungan LR maka dapat ditentukan dimensi *sandwich* seperti terlihat pada Gambar 4. 15. Dimana sesuai perhitungan LR didapatkan tebal *core* 15 mm dan tebal pelat 4 mm. Pada penelitian ini material *sandwich panel* tersusun dari dua jenis material yang memiliki sifat berbeda, tentu akan menghasilkan nilai kekuatan yang berbeda, dengan melakukan identifikasi maka akan diketahui apakah bentuk lapisan akan memberikan peningkatan kekuatan atau sebaliknya.



Gambar 4. 15 Dimensi *sandwich* sesuai perhitungan LR

Keterangan Gambar 4. 15 :

c (tebal *core*) = 15 mm

t (tebal *plate*) = 4 mm

d (total tebal) = 23 mm

4.2.1 Densitas *Sandwich Panel*

Hasil identifikasi densitas atau massa jenis *sandwich panel* ditunjukkan pada Tabel 4. 6. menunjukkan hasil dari densitas material *sandwich panel* dengan nilai densitas atau massa Pada persentase 20% adalah 3556.438 kg/m³ dan pada persentase 30% memiliki massa jenis 3661.050 kg/m³. Hasil pengujian

menunjukkan kenaikan nilai densitas seiring dengan bertambahnya persentase *filler* dalam inti *sandwich panel*

Tabel 4. 6 Hasil massa jenis *sandwich panel*

Persentase	Massa Jenis (Kg/m ³)
20%	3556.438
30%	3611.050

Densitas yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan densitas baja konvensional 7.850 kg/m³. Hal ini menunjukkan kombinasi bentuk material *sandwich panel* akan menghasilkan material yang lebih ringan dari kondisi berat material baja. Namun, hal ini tidak dapat dijadikan dasar untuk menyatakan bahwa penggunaan material *sandwich panel* pada konstruksi kapal akan mereduksi berat dari konstruksi kapal. Hal ini dikarenakan luas permukaan yang sama antara penggunaan material baja pada suatu ketebalan tertentu yang digantikan dengan material *sandwich panel* dengan ketebalan yang lebih besar cenderung akan menghasilkan berat yang lebih besar.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pengurangan berat yang terjadi pada beberapa penerapan material *sandwich panel* bukan pada penggunaan material tersebut, melainkan pada bentuk struktur dari suatu konstruksi yang dirubah sedemikian rupa, untuk menghasilkan pengurangan berat, namun masih memiliki nilai keamanan dari segi kekuatan konstruksi yang dihasilkan. Hal ini akan mengakibatkan suatu permasalahan, karena dibutuhkan analisa melalui perhitungan kekuatan struktur untuk dapat mencapai kondisi pengurangan berat konstruksi yang diharapkan.

4.2.2 Pengujian Lentur (*Flexural Test*) *Sandwich Panel*

Pengujian lentur dilakukan untuk mendapatkan nilai kekuatan suatu material dalam menerima beban secara vertikal hingga material tersebut tidak dapat kembali pada posisi semula atau hingga material tersebut mengalami kerusakan. Pada material *sandwich panel* pengujian lentur dilakukan untuk mengetahui

kekuatan yang pada material tersebut hingga material inti mengalami kerusakan dan material *faceplate* tidak dapat kembali pada bentuk awalnya. Pada Gambar 4. 16 dapat dilihat kerusakan yang terjadi setelah dilakukan pengujian *flexure* pada material *sandwich*. Kerusakan awal terjadi pada *core* tepat tegak lurus dimana posisi beban berada, kemudian semakin banyak patahan-patahan yang terjadi akibat beban tekuk pada material *sandwich*.



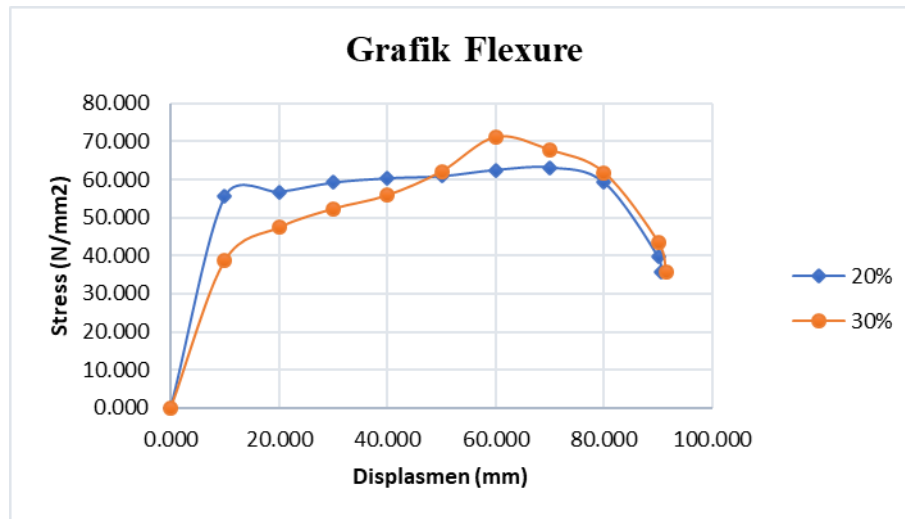
Gambar 4. 16 Hasil uji lentur pada spesimen *sandwich*

Berdasarkan hasil pengujian lentur yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa antara *sandwich* dengan *filler* 20% dan *filler* 30% memiliki perbedaan nilai maksimum *stress*, lihat pada Tabel 4. 7. *Sandwich* dengan persentase *filler* 30% memiliki nilai maksimum *stress* lebih tinggi daripada persentase *filler* 20%, ini menunjukkan bahwa *sandwich* dengan persentase *filler* 30% lebih kuat daripada *sandwich* dengan persentase *filler* 20%.

Tabel 4. 7 Hasil pengujian lentur *sandwich*

Material	Fsult (MPa)	Fsyield (MPa)	σ max (MPa)
Core material 20%	2.70	1.58	67.34
Core material 30%	3.01	1.68	71.14

Pada Gambar 4. 17 dapat dilihat grafik hasil salah satu pengujian lentur yang dilakukan, material *sandwich* dengan *filler core* sebesar 30% memiliki *stress maximum* yang lebih tinggi dibandingkan dengan *sandwich* dengan *filler core* 20%. *Stroke* atau displasmen kedua material yang diuji menunjukkan lebih dari 80 mm.



Gambar 4. 17 Grafik pengujian lentur stress-displasmen

Pada pengujian *flexural* yang dilakukan juga menghasilkan karakteristik lainnya yaitu nilai geser (*G*) *core sandwich*. Pada ASTM C393-00 menerangkan bahwa “*Flexure tests on flat sandwich construction may be conducted to determine the sandwich flexural stiffness, the core shear strength and shear modulus, or the facings compressive and tensile strengths*”. Hasil nilai *core shear modulus* yang bernotasikan *G*, dapat dilihat pada Tabel 4. 8, nilai *G* pada kedua material berbeda, dimana *sandwich* dengan persentase *filler* 30% memiliki nilai *G* yang lebih tinggi dibanding dengan *filler* 20% . Dengan nilai *G*, selanjutnya kita dapat menemukan nilai *poisson ratio* daripada *core sandwich*. *Poisson ratio* adalah konstanta elastisitas yang dimiliki oleh setiap material.

Tabel 4. 8 Nilai *core shear modulus*

Material	G (MPa)	E (MPa)	ν
			$(E/ 2. G) - 1$
Core material 20%	99.27	249.350	0.26
Core material 30%	127.30	331.805	0.30

4.2.3 Hasil Identifikasi Material *Sandwich Panel*

Berdasarkan analisa identifikasi yang dilakukan pada material *sandwich panel* yang dibuat, maka didapatkan hasil seperti berikut ini :

1. Nilai densitas dari material *sandwich panel* lebih ringan hampir 50 % dari densitas material baja. Densitas pada *sandwich* dengan persentase *core filler* 20% adalah 3556.438 Kg/m³ dan densitas *sandwich* dengan *core filler* 30 % adalah 3611.050 Kg/m³
2. Berdasarkan pengujian lentur *sandwich* dengan bertambahnya *filler* membuat maksimum *stress* meningkat. *Sandwich* dengan persentase *filler* 30% memiliki nilai maksimum *stress* 71.14 MPa, dan *sandwich* dengan persentase *filler* 20% memiliki maksimum *stress* 67.34 MPa.
3. Nilai *core shear modulus* pada persentase *filler* 20% yaitu 99.27 Mpa lebih rendah daripada *filler* 30% dengan nilai yaitu 127.3 MPa.
4. Nilai *poisson ratio* pada *core* dengan persentase *filler* 20% yaitu 0.26, dan pada *core* dengan persentase *filler* 30% yaitu 0.3.

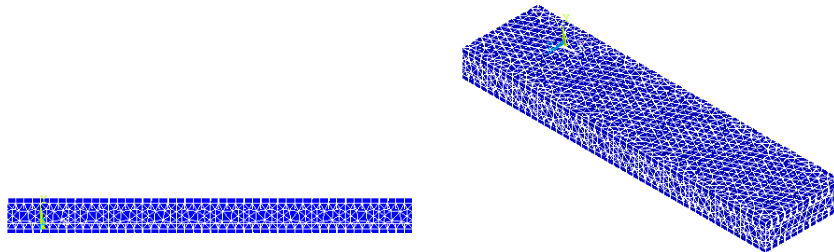
4.3 Identifikasi Respon Getaran *Sandwich Panel*

Pada tahap ini dilakukan beberapa proses penelitian terkait *modal analysis* untuk material *sandwich panel* dengan kondisi utuh dan rusak. Analisa yang pertama menggunakan metode pemodelan, dimana hasil dari pemodelan tersebut, menjadi sarana informasi dalam mengidentifikasi hasil pengujian berikutnya, yaitu pengujian eksperimental material *sandwich panel*. Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

4.3.1 Pemodelan *Sandwich Panel*

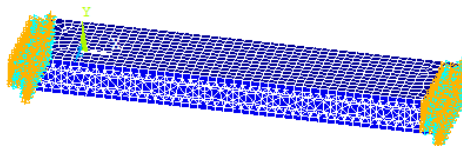
Analisa menggunakan analisa pemodelan dilakukan selain sebagai referensi dalam proses verifikasi hasil ekperimental. Pada percobaan ini, *mode* getaran yang diidentifikasi hanya *mode* ke-1, hal ini dilakukan sebagai pembantu dalam proses identifikasi frekuensi natural dan sebagai verifikasi hasil frekuensi natural yang didapat dalam pengujian ekperimental *sandwich panel*.

Bentuk *mode* getaran yang terjadi pada spesimen uji, pada *mode* ke-1 memiliki satu gelombang dengan arah memanjang pada benda. Pada Gambar 4. 18 merupakan pemodelan *sandwich panel* dengan dimensi 245 mm x 60 mm.



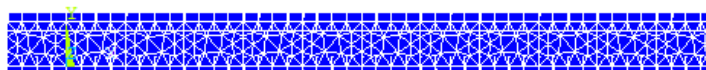
Gambar 4. 18 Pemodelan spesimen uji getaran pada *software*

Kondisi pada pemodelan *modal analysis* yang dilakukan adalah kondisi jepit pada ujung dari spesimen panel. Hal ini diberikan karena disesuaikan dengan kondisi pada saat melakukan pengujian. Pada Gambar 4. 19 dapat dilihat kondisi batas pada kedua ujung spesimen.



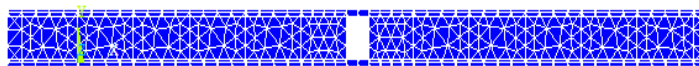
Gambar 4. 19 Kondisi batas pada model

Dalam pemodelan pada *finite element software*, model spesimen dimodelkan dengan kondisi utuh seperti pada saat pengujian. Pada Gambar 4. 20 menunjukkan model dengan kondisi utuh.



Gambar 4. 20 Spesimen kondisi utuh

Selain pada kondisi utuh yang telah digambarkan pada Gambar 4. 20, maka model selanjutnya akan dirusak sesuai kondisi pangujian. Ukuran dari cacat yang dibuat adalah tembus pada ujung *core* dimana lebar dari lubang yang dibuat adalah 8 mm. Terlihat pada Gambar 4. 21 model spesimen yang telah diberi cacat atau kerusakan pada *core*.



Gambar 4. 21 Spesimen kondisi rusak

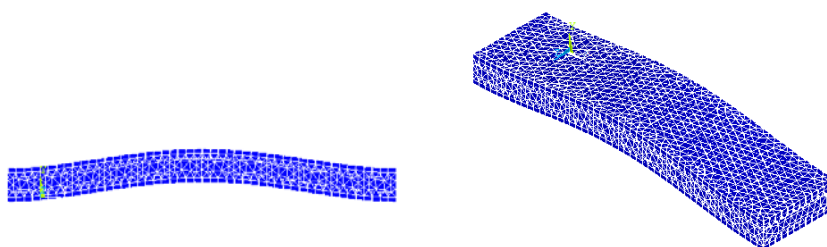
Sebelum melakukan proses pengolahan data atau proses *running*. *Material properties* harus disesuaikan dengan data hasil pengujian yang telah dilakukan seperti data modulus elastisitas, massa jenis dan *poisson ratio*. Di dalam proses *running* terdapat satu langkah yang sangat penting dilakukan yaitu pengujian konvergensi. Dalam literatur disebutkan bahwa akurasi solusi elemen hingga semakin meningkat dengan semakin banyaknya elemen yang digunakan, akan tetapi dengan semakin banyaknya elemen yang digunakan maka waktu yang dibutuhkan untuk komputasi juga semakin besar.

Tabel 4. 9 Konvergensi ukuran mesh

Mesh (m)	Frekuensi (Hz)
0.02	767.7
0.01	763.9
0.009	767.4
0.008	790.0
0.007	790.1
0.006	790.7
0.005	790.7

Pada pemodelan *finite element* terdapat salah satu langkah penting, yaitu konvergensi. Dalam literatur mengenai metode elemen hingga (FEM), seringkali disebutkan bahwa akurasi solusi elemen hingga semakin meningkat dengan semakin banyaknya elemen yang digunakan, banyaknya elemen yang terbentuk

tidak terlepas dari ukuran mesh yang digunakan, semakin kecil ukuran mesh maka semakin banyak jumlah elemen. Pada penelitian ini dilakukan uji konvergensi dengan cara melakukan proses *modeling* dan *running* pada spesimen uji dengan berbagai ukuran mesh. Proses ini untuk menentukan ukuran mesh yang akan digunakan. Hasil uji konvergensi dapat dilihat pada Tabel 4. 9, dapat dilihat bahwa pada saat ukuran mesh 0.02 m hasil frekuensi sebesar 767.7 Hz, kemudian turun saat mesh 0.01 m, kemudian naik kembali saat ukuran mesh 0.009 m. Hasil pengujian mulai stagnan ketika ukuran mesh 0.008 m, pengujian dilakukan hingga ukuran mesh 0.005 m dan hasilnya tetap stagnan ini membuktikan bahwa ukuran mesh mulai konvergen, sehingga dipilih ukuran mesh 0.005 m untuk analisa pemodelan selanjutnya.



Hasil dari pengujian dengan *finite element analysis software* dapat dilihat pada Tabel 4. 10, hasil pada numerik menunjukkan perbedaan frekuensi natural antara *sandwich* utuh dengan cacat. *Sandwich* dengan kondisi utuh lebih besar frekuensi naturalnya daripada *sandwich* dengan kondisi cacat. *Sandwich* dengan persentase *filler* 20% memiliki frekuensi natural lebih rendah daripada 30%.

Tabel 4. 10 Hasil uji numerik *sandwich*

PERSENTASE	20%	30%
Sandwich Utuh	552.8 Hz	564.71 Hz
Sandwich Cacat	375.83 Hz	399.81 Hz

4.3.2 Nilai Koherensi *Sandwich Panel* Utuh

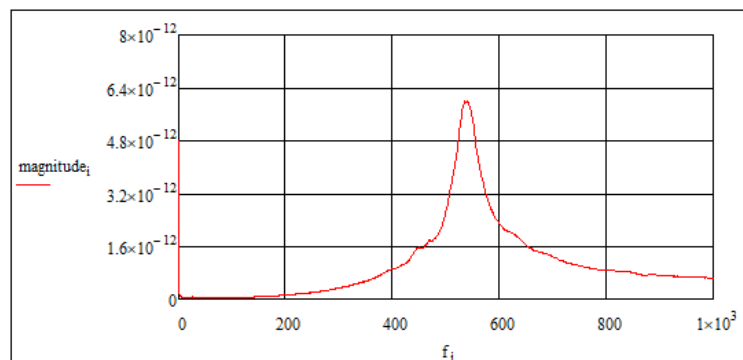
Pada penentuan *modal analysis* diperlukan analisa nilai koherensi untuk mengetahui kualitas dan kuantitas data yang diperoleh dari hasil pengujian. Pada

penjelasan sebelumnya telah dijelaskan bawasannya nilai koherensi memiliki skala 0 hingga 1. Dimana nilai 1 pada grafik koherensi melambangkan data hasil pengujian antara data input dan output semakin linier atau sama. Sedangkan nilai koherensi yang mendekati angka 0 menyatakan bahwa banyak *noise* yang terdeteksi pada saat melakukan pengujian atau pengolahan data yang kurang tepat. Dengan hasil secara keseluruhan mendekati nilai 1, ini menunjukkan keseluruhan data yang diambil dan diolah sudah relevan dan mampu digunakan dalam proses analisa. Serta tidak perlu dilakukan pengambilan data maupun pengolahan data ulang.

4.3.3 Perbandingan Hasil Analisis Numerik dan Eksperimen *Sandwich Panel* Kondisi Utuh

Pengambilan data pada saat pengujian getaran ini sesuai ilustrasi titik eksitasi pada material uji seperti yang diterangkan pada bab sebelumnya, dimana dilakukan tiga titik eksitasi (*hammer*) dan 6 titik *accelerometer*. Setiap titik pengambilan data dilakukan minimum 16 kali pemukulan sehingga menghasilkan 16 data spektrum getaran dalam time domain. Kemudian data hasil pemukulan dipilih lagi sebanyak 6 data yang terbaik untuk diolah dengan *software* Mathcad. Kategori data yang baik dalam proses pemilihan adalah jika sinyal yang diterima oleh *software analyzer* tidak mengalami *overload* baik dari *hammer* maupun *accelerometer*. Gambar 4. 22 merupakan contoh hasil pengolahan data pada pengujian getaran setelah diolah dengan *Fourier Transform* sehingga data yang diperoleh berupa frekuensi domain.

Proses verifikasi hasil merupakan proses membandingkan kedua hasil pengujian antara analisa numerik dengan ekperimental. Hasil ekperimental merupakan variable control dari proses verifikasi ini, karena hasil ekperimental merupakan hasil yang berasal dari keadaan sesungguhnya, bukan keadaan ideal dari hasil analisa pemodelan.



Gambar 4. 22 Hasil pengujian getaran kondisi utuh

Pada Tabel 4. 11 dapat dilihat bahwa hasil eksperimen maupun numerik untuk *sandwich* dengan persentase 20% dan 30% memiliki perbedaan frekuensi natural. Pada persentase 20% frekuensi natural yang dimiliki yaitu 536.4 Hz dan pada frekuensi 30% memiliki frekuensi natural 545.1 Hz, ini menandakan bahwa dengan bertambahnya *filler* pada *sandwich* maka membuat frekuensi natural menjadi meningkat. Peningkatan frekuensi natural ini disebabkan karena kekakuan dari material, ini membuktikan bahwa semakin besar nilai modulus elastisitas semakin besar pula nilai frekuensi natural yang dimiliki.

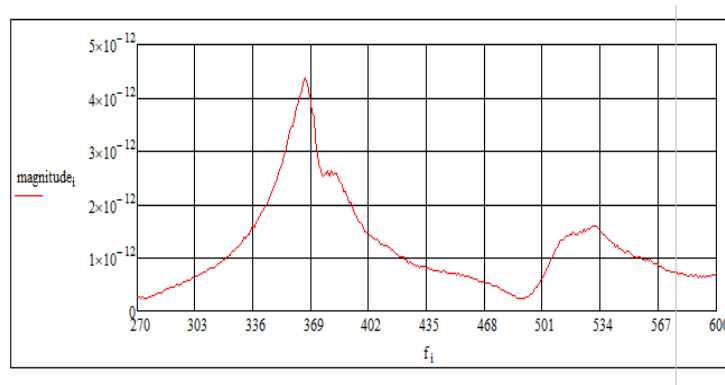
Tabel 4. 11 Perbandingan numerik dan eksperimen pada *sandwich* kondisi utuh

PERSENTASE CAMPURAN	20%	30%
Numerik	552.8	564.71
Experiment	536.4	545.1
Perbedaan	3%	2%

4.3.4 Perbandingan Hasil Analisis Numerik dan Eksperimen *Sandwich Panel* Kondisi Cacat

Pengambilan data pada saat pengujian getaran ini sesuai ilustrasi titik eksitasi pada material uji seperti yang diterangkan pada bab sebelumnya, dimana dilakukan tiga titik eksitasi (*hammer*) dan 6 titik *accelerometer*. Setiap titik pengambilan data dilakukan minimum 16 kali pemukulan sehingga menghasilkan 16 data spektrum getaran dalam time domain. Kemudian data hasil pemukulan

dipilih lagi sebanyak 6 data yang terbaik untuk diolah dengan *software* Mathcad. Kategori data yang baik dalam proses pemilihan adalah jika sinyal yang diterima oleh *software analyzer* tidak mengalami *overload* baik dari hammer maupun accelerometer. Gambar 4. 23 merupakan contoh hasil pengolahan data pada pengujian getaran setelah diolah dengan *Fourier Transform* sehingga data yang diperoleh berupa frekuensi domain.



Gambar 4. 23 Hasil pengujian getaran kondisi cacat

Proses verifikasi selanjutnya dilakukan pada material *sandwich panel* yang telah diberikan cacat pada *core*, adapun hasil pengujian numerik dan eksperimen dapat dilihat pada Tabel 4. 12 berikut ini.

Tabel 4. 12 Perbandingan numerik dan eksperimen pada *sandwich* kondisi cacat

PERSENTASE CAMPURAN	20%	30%
Numerik	375.83	389.81
Experiment	365.71	371.62
Perbedaan	3%	5%

Pada Tabel 4. 12 dapat dilihat hasil antara pengujian numerik dengan eksperimen, dimana pengujian eksperimen dan numerik memiliki perbedaan hasil sekitar 3%. Pada persentase *filler* 20% memiliki nilai frekuensi natural sebesar 365.71 Hz, dan pada persentase *filler* 30% memiliki nilai frekuensi natural sebesar 371.62 Hz. Perbedaan yang dihasilkan ini dikarenakan kekakuan pada material

yang diuji, semakin tinggi nilai modulus elastisitas maka semakin tinggi pula nilai frekuensi natural yang dimiliki.

4.3.5 Hasil dan Analisa *Damping Ratio Sandwich Panel*

Karakteristik dinamis lainnya yang perlu diidentifikasi pada pengujian ini adalah *damping ratio*, yaitu kemampuan material dalam meredam suatu getaran. Identifikasi ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan material dengan perbedaan komposisi pada *core* mampu meredam suatu getaran. Berikut nilai *damping ratio* dari material *sandwich panel* pada kondisi utuh.

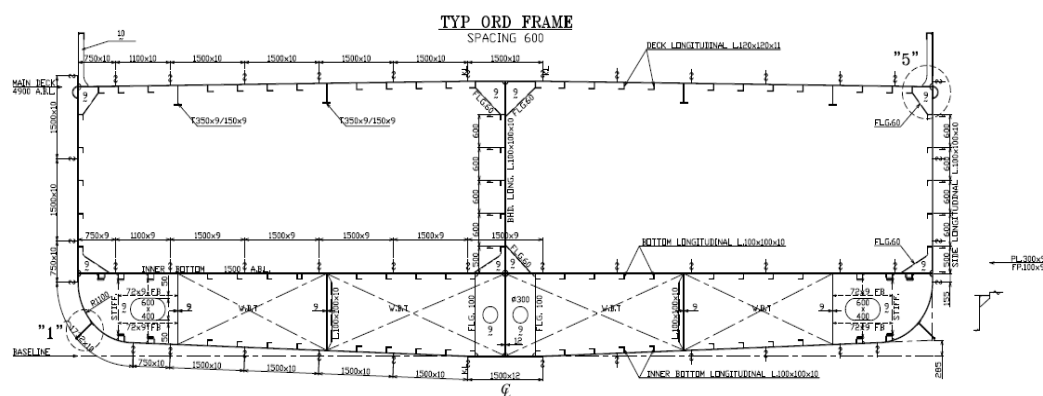
Tabel 4. 13 Hasil *damping ratio*

MATERIAL	ω_r	Magnitude	Mag/ $\sqrt{2}$	ω_a	ω_b	$\omega_b - \omega_a/2$	(%)
20% UTUH	536.4	5.98E-12	4.23E-12	518.59	555.55	0.034	3.445
20% CACAT	365.71	4.37E-12	3.09E-12	355.09	382.15	0.037	3.700
30% UTUH	545.1	3.35E-12	2.37E-12	520.6	552.8	0.030	2.954
30% CACAT	371.62	2.59E-12	1.83E-12	359.3	383.13	0.032	3.206

Pada Tabel 4. 13 dapat dilihat nilai *damping ratio*, dimana *damping ratio* antara material dengan *filler* 20% dan 30 % memiliki perbedaan, dimana material dengan *filler* 30% memiliki nilai *damping ratio* lebih tinggi daripada 20% pada saat kondisi utuh, dan sebaliknya material dengan *filler* 30% lebih tinggi *damping ratio* ketika kondisi cacat. Kondisi utuh dan tidak utuh juga memiliki *damping ratio* yang berbeda. Diketahui, dengan *damping ratio* yang semakin tinggi, kemampuan material dalam meredam getaran juga semakin baik. Kemampuan meredam getaran yang baik dapat membuat amplitudo pada getaran akan semakin kecil. Perlu dicatat bahwa *damping ratio* tidak mengubah frekuensi yang terjadi. Dengan amplitudo yang kecil, umur material akan semakin panjang. Perbedaan angka *damping ratio* terjadi akibat perbedaan komposisi yang mempengaruhi kekakuan pada material *sandwich panel* dan juga kondisi daripada material tersebut seperti keutuhan dan dimensi material.

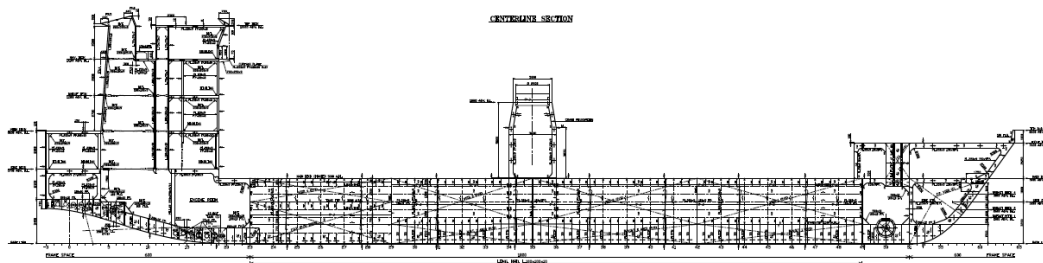
4.4 Pemodelan Struktur *Sandwich Panel* dan Berat Konstruksi

Pemodelan pada konstruksi kapal pada penelitian ini dimodelkan pada *finite element software*. Pemodelan ini bertujuan mengetahui kekuatan konstruksi dengan menggunakan sistem *sandwich*, dimana pada penelitian ini pelat konvensional diganti dengan pelat model *sandwich*. Pada penelitian ini, konstruksi yang menggunakan sistem *sandwich* yaitu pada konstruksi lambung, seperti terlihat pada Gambar 4. 24. Konstruksi pelat lambung yang ada akan digantikan dengan pelat model *sandwich*.



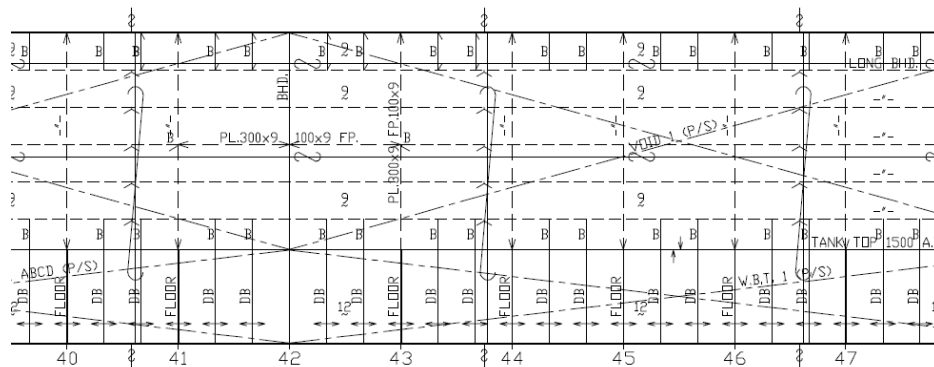
Gambar 4. 24 *Midship section* kapal container

Adapun *profil construction* pada kapal yang dijadikan penelitian yaitu terlihat pada Gambar 4. 25. Pada kapal yang diteliti memiliki sistem konstruksi memanjang, dengan pelat eksisting ketebalan 10 mm, jarak pembujur 600 mm dan jarak antara *web frame* 1800 mm.



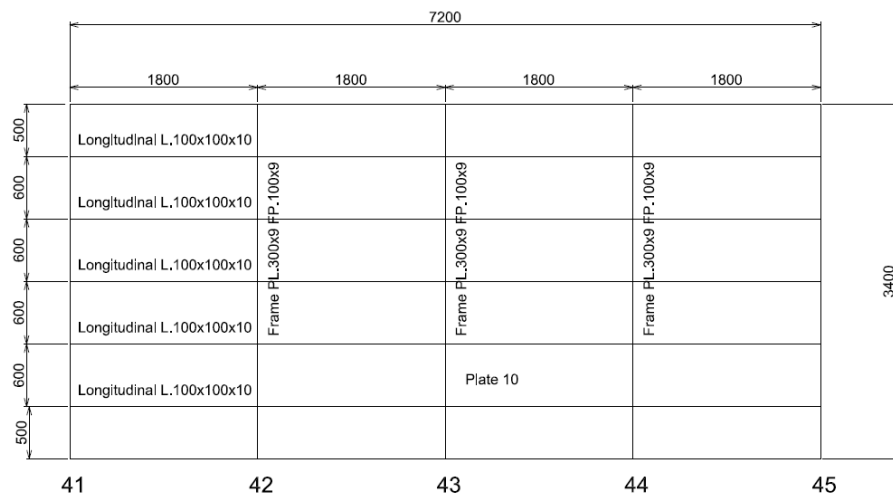
Gambar 4. 25 *Finish plant* kapal kontainer

Pada penelitian ini, panel yang diteliti berukuran panjang 7200 mm dan lebar atau tinggi 3400 mm, ukuran panel ini sesuai dengan dimensi dari konstruksi kapal yang ada. Lebar atau tinggi panel adalah tinggi kapal dikurangi dengan tinggi dari tinggi alas ganda, dan panjang panel sesuai dengan jarak frame 41 sampai 45, terlihat desain konstruksi sisi kapal pada Gambar 4. 26.



Gambar 4. 26 Konstruksi antara frame 41-45

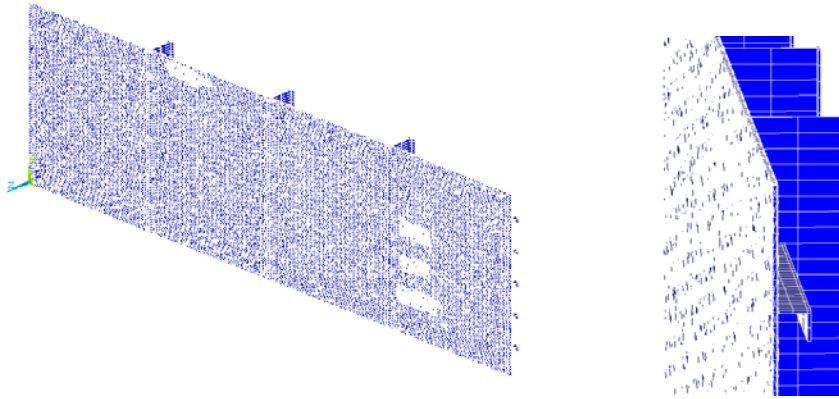
Detail panel konstruksi konvensional yang diteliti seperti pada Gambar 4. 27, dimana profil pembujur L100x100x10, profil web frame PL300x9,FP100x9 dan dengan ketebalan pelat 10 mm.



Gambar 4. 27 Dimensi panel yang dianalisa

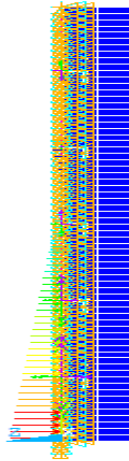
Pemilihan jenis elemen untuk pemodelan pada *finite element software* untuk konstruksi seperti penjelasan pada BAB III, dimana jenis elemen untuk *core* yaitu elemen SOLID 187, untuk pelat menggunakan elemen SHELL 181, dan untuk

penegar menggunakan elemen BEAM 189. Penggunaan ukuran mesh seperti pada bab sebelumnya diterangkan menggunakan ukuran mesh 0.05, adapun bentuk konstruksi yang telah dilakukan proses *meshing* dapat dilihat pada Gambar 4. 28.



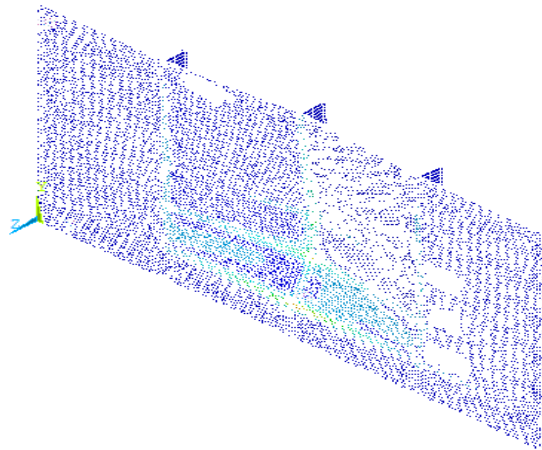
Gambar 4. 28 Konstruksi yang telah di-*meshing*

Pada penelitian ini, pembebanan pada konstruksi adalah dengan tekanan air laut, dimana ini sesuai dengan kondisi beroperasi kapal sesuai dengan perhitungan *rules* Biro Klasifikasi Indonesia, Volume II, Rules for Hull 2016. Pada *rules* BKI Volume II, Section 4, nomor 2.1, diterangkan bahwa beban pada sisi kapal (*load on ship's sides*) dengan notasi P_s (detail persamaan dapat dilihat pada BAB III) dapat ditentukan atau dihitung. Dengan persamaan yang diberikan oleh BKI, didapatkan hasil beban maksimum pada sisi kapal sebesar 20.399 kN/m^2 , (detail perhitungan dapat dilihat pada lampiran), aplikasi pembebanan diasumsikan dengan bentuk segitiga, yaitu pada puncak sarat beban bernilai nol dan pada bagian bawah beban bernilai maksimum, aplikasi beban tekanan air pada konstruksi dapat dilihat pada Gambar 4. 29.



Gambar 4. 29 Tekanan air yang diaplikasikan ke model

Proses modeling dengan menggunakan *finite element software* menghasilkan bentuk deformasi seperti terlihat pada Gambar 4. 30 dimana deformasi terbesar pada sisi bawah panel, dikarenakan beban tekanan air terbesar berada pada sisi bawah panel.



Gambar 4. 30 Deformasi pada struktur

Hasil pemodelan dan *running* dengan *finite element software* didapatkan hasil seperti pada

Tabel 4. 14. Dimana konstruksi konvensional kapal dengan menggunakan pelat baja biasa memiliki *von mises stress* sebesar 104.06 MPa, dan konstruksi dengan menggunakan pelat model *sandwich* tanpa merubah penegar memiliki nilai

von mises stress sebesar 63.27 MPa untuk *sandwich* dengan *filler* serbuk kerang sebesar 20% dan pada *sandwich* dengan *filler* serbuk kerang sebesar 30% memiliki tegangan *von mises* sebesar 62.69. Penurunan nilai tegangan antara penggunaan pelat baja biasa/konvensional dengan pelat model *sandwich* pada konstruksi penegar yang sama disebabkan karena perbedaan ketebalan antara pelat baja biasa/konvensional (10 mm) dengan pelat *sandwich* (23 mm). Dengan ketebalan *sandwich* yang lebih besar menyebabkan momen luas dari *sandwich* juga meningkat dibandingkan dengan pelat baja biasa, sehingga tegangan maksimum pada *sandwich* lebih kecil dibandingkan dengan konstruksi dengan pelat biasa/konvensional. Kondisi ini disebut dengan *sandwich effect* seperti yang dijelaskan pada BAB II.

Tabel 4. 14 Hasil *von mises stress* konstruksi konvensional-*sandwich*

No	Sistem Konstruksi	Stress Von Mises (MPa)
1	Konvensional	104.06
2	Sandwich 20%-Frame Konvensional	67.345
3	Sandwich 20%-Frame Konvensional	71.410

Pada Tabel 4. 14 dapat dilihat tegangan maksimum pada konstruksi konvensional dan konstruksi *sandwich* dengan tidak merubah sistem konstruksi yang ada, hanya merubah jenis pelat konvensional dengan pelat model *sandwich*. Pada kondisi beban yang sama antara konstruksi konvensional dengan konstruksi *sandwich*, menghasilkan tegangan maksimum *von mises* pada konstruksi konvensional masih di bawah tegangan maksimum yang disyaratkan BKI. Tegangan izin dari pelat dan konstruksi konvensional merujuk pada Pada *rule* Biro Klasifikasi Indonesia Volume II *Rules for Hull* (2016) Section 2.B.1, menyebutkan bahwa “kekuatan normal baja konstruksi lambung adalah suatu baja konstruksi lambung dengan nilai luluh atas minimum $R_{eH} 235 \text{ N/mm}^2$ dan kuat tarik $R_m 400 - 520 \text{ N/mm}^2$ ”. Dan tegangan maksimum *von mises* pada konstruksi *sandwich panel* dengan konstruksi penegar konvensional dijadikan sebagai acuan untuk melakukan pengurangan penegar. Rumusan tegangan *von mises* (Kurowski 2012) dapat dilihat pada persamaan 4.1

$$\sigma_{vm} = \sqrt{[(\sigma_{xx})^2 + (\sigma_{yy})^2 - (\sigma_{xx}\sigma_{yy})] + 3(\tau_{xy}^2)} \quad (4.1)$$

Dimana :

σ_{xx} = tegangan lentur sumbu x

σ_{yy} = tegangan lentur sumbu y

τ_{xy} = tegangan geser

Perhitungan berat dilakukan untuk mendapatkan pengurangan berat yang maksimum. Pada Tabel 4. 15 dapat dilihat perbandingan penggunaan pelat konvensional dan pelat *sandwich*, dimana penggunaan *sandwich* menyebabkan berat meningkat daripada penggunaan pelat konvensional pada profil dan jarak penegar yang sama. Penggunaan *sandwich* pada panel dengan penegar yang sama menyebabkan kenaikan berat rata-rata sebesar 3%.

Tabel 4. 15 Perbandingan berat pelat konvensional dan *sandwich*

Panel Panjang 7.2 m Lebar 3.4 m									
ITEM	Jumlah	Ukur	Panjang (mm) / Luas (mm ²)	Profil /tebal (mm)					BERAT (TON)
Pelat sisi	1	24.48	24480000.00	10					1.92
Pembujur Sisi	5	7.20	7200	L 100x100x10	100	10	100	10	0.57
Web Frame	3	3.40	3400	T 300x100x9	300	9	100	9	0.29
								TOTAL	2.78
ITEM	Jumlah	Ukur	Panjang (mm) / Luas (mm ²)	Profil /tebal (mm)					BERAT (TON)
Pelat sisi	1	24.48	24480000.00	23					2.00
Pembujur Sisi	5	7.20	7200	L 100x100x10	100	10	100	10	0.57
Web Frame	3	3.40	3400	T 300x100x9	300	9	100	9	0.29
								TOTAL	2.86
ITEM	Jumlah	Ukur	Panjang (mm) / Luas (mm ²)	Profil /tebal (mm)					BERAT (TON)
Pelat sisi	1	24.48	24480000.00	23					2.03
Pembujur Sisi	5	7.20	7200	L 100x100x10	100	10	100	10	0.57
Web Frame	3	3.40	3400	T 300x100x9	300	9	100	9	0.29
								TOTAL	2.89

Berat Konstruksi (Ton)		Selisih %
Konvensional	Sandwich	
2.78	2.86	2.909%
2.78	2.89	4.017%

Pada penelitian ini dilakukan optimasi dan redesain sistem konstruksi untuk mendapatkan desain konstruksi yang optimum dari sisi pengurangan berat dan dari sisi kekuatan. Optimasi dilakukan dengan mengurangi jarak pembujur dan menghilangkan atau melebarkan jarak antar gading, dengan panjang dan lebar panel tetap yaitu panjang 7.2 m dan lebar 3.4 m. Pada penelitian ini dilakukan optimasi dengan variasi jarak pembujur dan gading serta ukuran profil, dapat dilihat pada Tabel 4. 16, terdapat lima variasi daripada sistem konstruksi dengan menggunakan *sandwich* yaitu konstruksi A, B, C, D dan E.

Tabel 4. 16 Sistem konstruksi redesain

KONSTRUKSI	JARAK ANTAR PEMBUJUR (mm)	JARAK ANTAR WEB FRAME (mm)	UKURAN PROFIL	
			PEMBUJUR (mm)	WEB FRAME (mm)
A	500	1800	L 100x100x10	T 300x100x9
B	500	1800	L 100x100x8	T 300x100x8
C	500	3600	L 100x100x10	T 300x100x9
D	500	3600	L 100x100x8	T 300x100x8
E	500	3600	L 100x100x6	T 300x100x6

Hasil perhitungan berat pada modifikasi dan redesain panel konstruksi dapat dilihat pada Tabel 4. 17, dimana terdapat lima variasi dari model A, B, C, D dan E. Pada hasil modifikasi dan redesain panel dengan menggunakan model panel *sandwich* terlihat bahwa model konstruksi A hingga C belum memberikan pengurangan berat, namun pada model D dan E sudah mengurangi berat daripada penggunaan konstruksi konvensional. Pada model D mengurangi berat rata-rata 5% dan model E mengurangi berat sebesar 10%.

Tabel 4. 17 Rekapitulasi berat hasil redesain konstruksi

SISTEM KONSTRUKSI	SANDWICH 20%			SANDWICH 30%		
	BERAT (TON)	BERAT (TON)	SELISIH (%)	BERAT (TON)	BERAT (TON)	SELISIH (%)
KONVENSIONAL	2.775	2.775	0.000%	2.775	2.775	0.000%
A	2.775	2.969	6.982%	2.775	3.000	8.090%
B	2.775	2.801	0.940%	2.775	2.832	2.048%
C	2.775	2.777	0.057%	2.775	2.807	1.165%
D	2.775	2.630	-5.215%	2.775	2.661	-4.108%
E	2.775	2.473	-10.87%	2.775	2.504	-9.765%

Hasil modeling dan *running* pada *finite element software* menunjukkan bahwa dengan beberapa model konstruksi yang diuji masih dibawah nilai tegangan maksimum *von mises* pada konstruksi *sandwich panel* dengan frame yang sama untuk A hingga D, dan pada model E tidak melebihi tegangan maksimum *von mises* hasil dapat dilihat pada Tabel 4. 18.

Tabel 4. 18 Hasil *von mises stress* model

SISTEM KONSTRUKSI	SANDWICH 20% Von Mises (Mpa)	KET	SANDWICH 30% Von Mises (Mpa)	KET
KONV_FRAME	67.345	-	71.140	-
A	53.309	oke	52.104	oke
B	56.201	oke	55.808	oke
C	60.981	oke	59.889	oke
D	63.269	oke	62.685	oke
E	86.142	no	83.354	no

Berdasarkan hasil perhitungan berat dan pemodelan konstruksi model pada *finite element software* didapatkan hasil :

- Model panel konstruksi hasil redesain dan modifikasi menunjukkan bahwa modifikasi dan redesain dapat menyebabkan perbedaan berat dan nilai *von mises stress* dibandingkan penggunaan konstruksi konvensional.
- Hasil perhitungan berat menunjukkan bahwa model D dan E memiliki berat panel konstruksi lebih ringan dibandingkan konstruksi panel konvensional.
- Pada model A hingga D, nilai *von mises stress* masih dibawah nilai *von mises stress* pada *sandwich panel* dengan konstruksi penegar yang sama, dan pada model E lebih dari nilai *von mises stress*.
- Berdasarkan hasil perhitungan dan pemodelan, model konstruksi D yang paling optimum karena hasil perhitungan berat menunjukkan pengurangan berat hingga 5% dan nilai *von mises stress* masih dibawah nilai *von mises stress sandwich panel* dengan konstruksi penegar yang sama.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dalam pengembangan serta inovasi *sandwich panel* berbahan material limbah cangkang kerang, maka didapatkan beberapa kesimpulan diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan material cangkang kerang sebagai inti atau *core* menghasilkan *sandwich panel* yang memenuhi peraturan Lloyd's Register 2015.
2. Berdasarkan nilai *mechanical properties* maka didapatkan bahwa campuran *filler* cangkang kerang 20% dan 30% memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan komposisi campuran yang lain. Pada *filler* 20% menghasilkan nilai densitas *core* 1329 Kg/m³, *tensile strength* 32.209 N/mm², *modulus elongation* 249.35 N/mm², *elongation* 23 %, *hardness* 120.7 D, *compressive strength* 86.149 N/mm², *densitas sandwich panel* 3556.438 Kg/m³ dan tekanan lentur maksimal 67.34 N/mm². Pada *filler* 30% menghasilkan nilai densitas *core* 1465 Kg/m³, *tensile strength* 37.225 N/mm², *modulus elongation* 331.80 N/mm², *elongation* 20 %, *hardness* 121.8 D, *compressive strength* 92.366 N/mm², *densitas sandwich panel* 3611.05 Kg/m³ dan tekanan lentur maksimal 71.14 N/mm².
3. Pengujian getaran yang dilakukan menunjukkan bahwa, penambahan *filler* cangkang kerang menyebabkan kenaikan frekuensi natural, hal ini dikarenakan *core sandwich panel* lebih kaku dan adanya cacat pada material inti *sandwich panel* menurunkan rata-rata nilai frekuensi natural. Verifikasi uji getaran dilakukan dengan membandingkan nilai frekuensi natural antara eksperimen dan analisa model dengan perbedaan nilai sebesar 3%, hal ini mengkonfirmasi bahwa hasil eksperimen cukup baik.
4. Penggunaan material cangkang kerang dapat mengurangi berat konstruksi kapal dengan melakukan optimasi dan redesain, *sandwich panel* mampu

memberikan pengurangan berat konstruksi yang terjadi pada model konstruksi sisi kapal dengan dimensi 7.2 m x 3.4 m sebesar 5%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, beberapa saran diberikan untuk menunjang hasil penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Dalam penelitian ini sudah dilakukan usaha agar material *face plate* dan *core* dapat mempunyai kekuatan geser yang lebih baik dengan cara menambahkan lem epoxy resin. Namun hasilnya belum maksimal sehingga pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan upaya agar kekuatan geser *core* dan *face plate* menjadi lebih baik.
2. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengujian *buckling* untuk mengetahui pengaruh beban aksial tekan terhadap konstruksi *sandwich panel* lambung kapal.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C 393, “*Standard test method for flexural properties of sandwich constructions*”, American National Standard Institute, United States.
- ASTM D 638, “*Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*”, American National Standard Institute, United States.
- ASTM D 695, “*Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics*”, American National Standard Institute, United States.
- Baidowi.A., Utomo.E. (2015),”Penggunaan Sandwich Plate System (SPS) pada Konstruksi Double Bottom”, *e-journal.undip.ac.id*, Vol.12, No.2. Indonesia.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2016), *Rules for Hull*, Volume II. BKI, Indonesia.
- Brooking.M.A., Kennedy.S.J. (2004),”The performance, Safety and Production benefits of SPS structures for Double Hull Tankers”, *Proceedings of the RINA conference on Double Hull Tankers*,25-26.02.2004, London, UK, PP.1-2.
- DIN 53505, “*Shore A and Shore D hardness testing of rubber*”, Deutsches Institut für Normung e. V., Germany.
- Gere. J.M, Timoshenko.S.P. (1972), *Strength of Materials*, Jilid 1 & 2 Edisi ke-4, Penerbit Erlangga., Indonesia.
- Gopichand,A., Krishnaiah,G., Reddy,D., Shankar, N.V.S.(2013) “Modal Analysis of a Steel Sandwich Plate System (SPS) Floor” IJERT.
- Hendra, S Ginting, Lubis, Maulida. Suwito, Fendi dan Tanujaya, Billy. (2016). “Effect of Clam Shell Powder (*Anadara granosa*) Composition on Physical and Mechanical Properties of Polyester Resin Particle Board Products”. Department of Chemical Engineering, University of Sumatera Utara, Indonesia.
- Hexcel Composites.(2000). *HexWeb™ Honeycomb Sandwich Design Technology*, Publication No. AGU 075b,
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2011). Statistik Perikanan Tangkap Indonesia, Jakarta.

- Kurowski, P.M. (2012) [www.deu.edu.tr](http://www.deu.edu.tr/userweb/zeki.kiral/CAD/Failure_Assesment.pdf)
http://www.deu.edu.tr/userweb/zeki.kiral/CAD/Failure_Assesment.pdf
 (diakses Juli 31, 2018).
- Lloyd's Register. (2015), "*Provisional rules for the application of sandwich panel construction to ship structure*", LR, UK.
- Logan, Daryl L. (2007), *A First Course in the Finite Element Method*. Thomson Canada Limited, USA.
- Manshuri, Y. and Amalina, M.A. (2014). "Hardness and compressive properties of calcium carbonate derived from clam shell filled unsaturated polyester composites", *Materials Research Innovations*, Vol. 18, Sup. 6, hal. S6-291-S6-294
- Momcilovic, N., Motok, M. (2009), "Estimation of Ship Lightweight Reduction by Means of application of Sandwich Plate System", Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Serbia.
- Nikishkov, G.P. (2004), *Introduction to the Finite Element Method*. University of Aizu, Japan
- Penttilä-Kujala, Alan Klanac. (2005), "*Steel Sandwich Panels in Marine Applications*", Ship Laboratory, Helsinki University of Technology. Brodogradnja, Finland.
- Ramakrishnan, K, Kumar, P. (2016). "Application of Sandwich Plate System for Ship Structures", Aries Internasional Research Institute, UAE
- Sandcore. (2010), *Best Practice Guide for Sandwich Structures in Marine Applications*, New rail, University of Newcastle upon Tyne.
- Thomson, William. (1980). *Theory of Vibration with Application*. Taylor, France.
- Utomo, E. Zubaydi, A. (2016). *Penggunaan Sandwich panel (Pelat Baja dan Synthetic Resin) Pada Konstruksi Kapal*, Tesis ITS, Surabaya
- Utomo E, Baidowi A., (2015) "*Preliminary Study Of Sandwich Panel Application In Ship Construction : Combination Of Plywood And Polyurethane Foam Material*", *Proceeding SENTA* page 33-38, Faculty of Marine Technology, ITS, Surabaya, Indonesia.

- Wei, Sun. (2008). Output Only Modal Analysis-Scaled Mode Shape by Adding Small Masses on The Structure. Department of Mechanical Engineering Blekinge Institute of Technology Karlskrona, Sweden.
- Winahyu, I. Zubaydi, A. (2017). *Analisis Kerusakan Material Sandwich Panel Pada Konstruksi Kapal Menggunakan Getaran*, Tesis ITS, Surabaya.
- Zenkert, D., (1995). An Introduction to Sandwich Construction, EMAS Publishing.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

DINAS PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TNI AL
LABORATORIUM INDUK KIMIA DAN MATERIAL

SURAT KETERANGAN
Nomor : Sket/ 12, /VII/2018

Yang bertanda tangan dibawah ini :

N a m a : Pompy Pratisna. ST.,MT
Pangkat/NRP : Mayor Laut (T) NRP 17816/P
Jabatan : Kataud Labinkimat

Menerangkan dengan sebenarnya bahwa :

N a m a : Kharis Abdullah
NRP : 04111650030010
Institusi Pendidikan : Institut Teknologi Sepuluh November
Pekerjaan : Mahasiswa
Judul Tesis : PENGEMBANGAN DAN UJI DINAMIS SANDWICH PANEL
BERBAHAN CORE MATERIAL LIMBAH CANGKANG KERANG PADA KONSTRUKSI
KAPAL

Menerangkan bahwa benar adanya mahasiswa tersebut diatas telah melaksanakan pengujian untuk pengabilan data tesis penelitian di Labinkimat Dislitbang TNI AL.

Demikian surat keterangan ini dibuat dengan sebenarnya dan digunakan sebagaimana mestinya.

Surabaya, 31 Juli 2018

Yang menerangkan
a.n. Kepala Labinkimat
Kataud,



Pompy Pratisna. ST.,MT
Mayor Laut (T) NRP 17816/P



LAMPIRAN

HASIL PENGUJIAN TARIK *CORE MATERIAL*

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK

KERANG 10% KE-1

ITS

: AZ TEAM

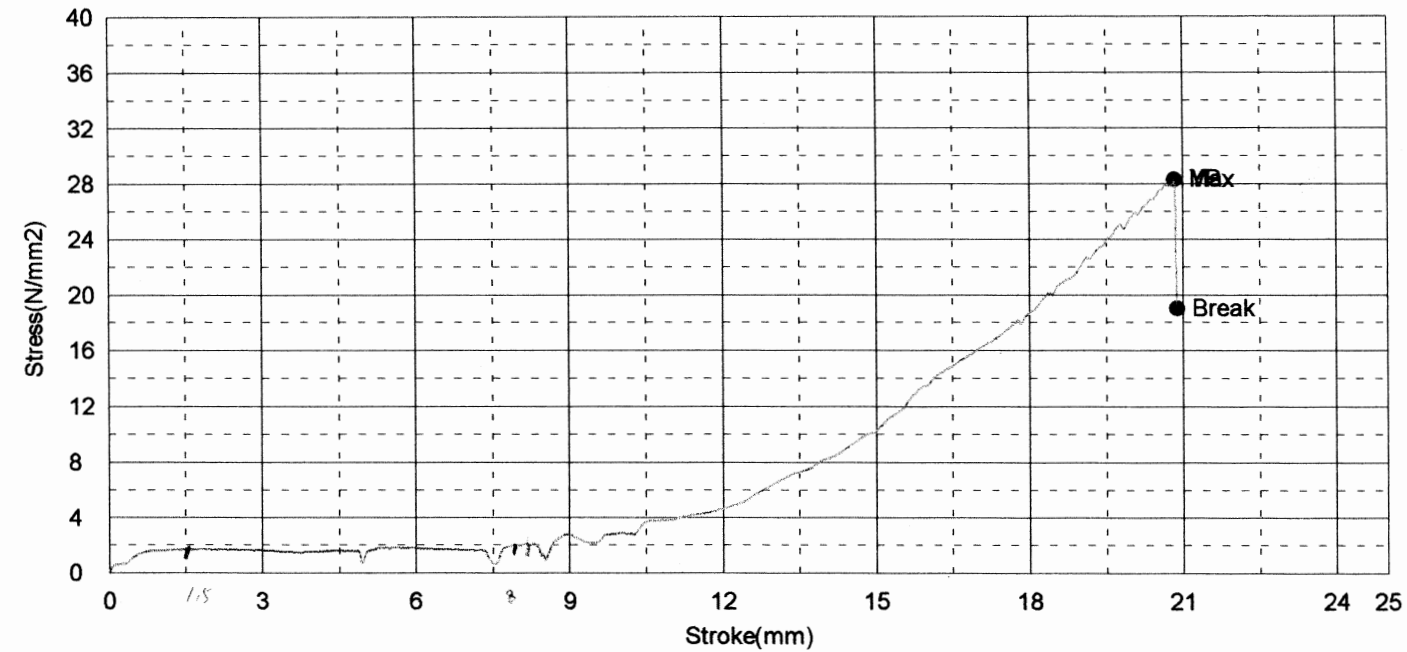
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,7000	19,2500	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	8,01563	20,8335	28,3263	41,6670	8,01563

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	20,8335	28,3263	41,6670	5,39063	20,8800

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	19,0498	41,7600



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK

KERANG 10% KE-3

ITS

: AZ TEAM

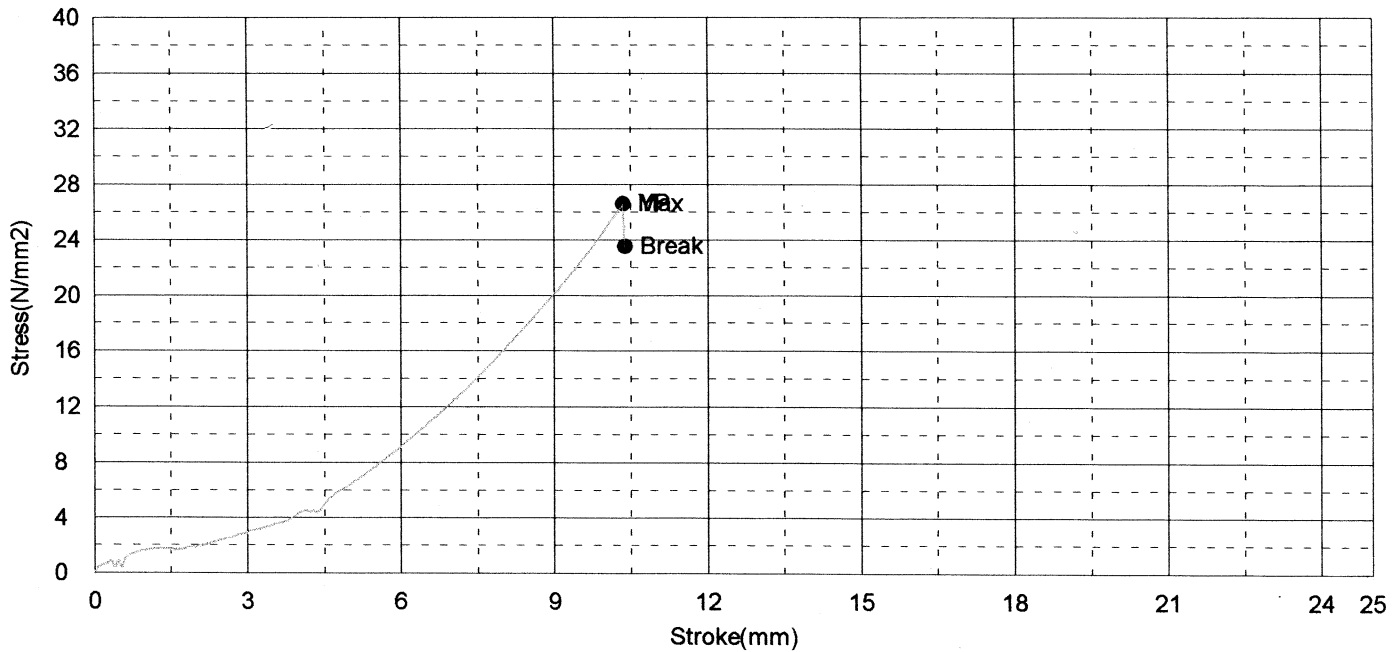
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,4000	19,3500	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	7,41250	10,3380	26,6024	20,6760	7,41250

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	10,3380	26,6024	20,6760	6,55625	10,3780

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	23,5295	20,7560



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KERANG 10% KE-3 ITS

: AZ TEAM

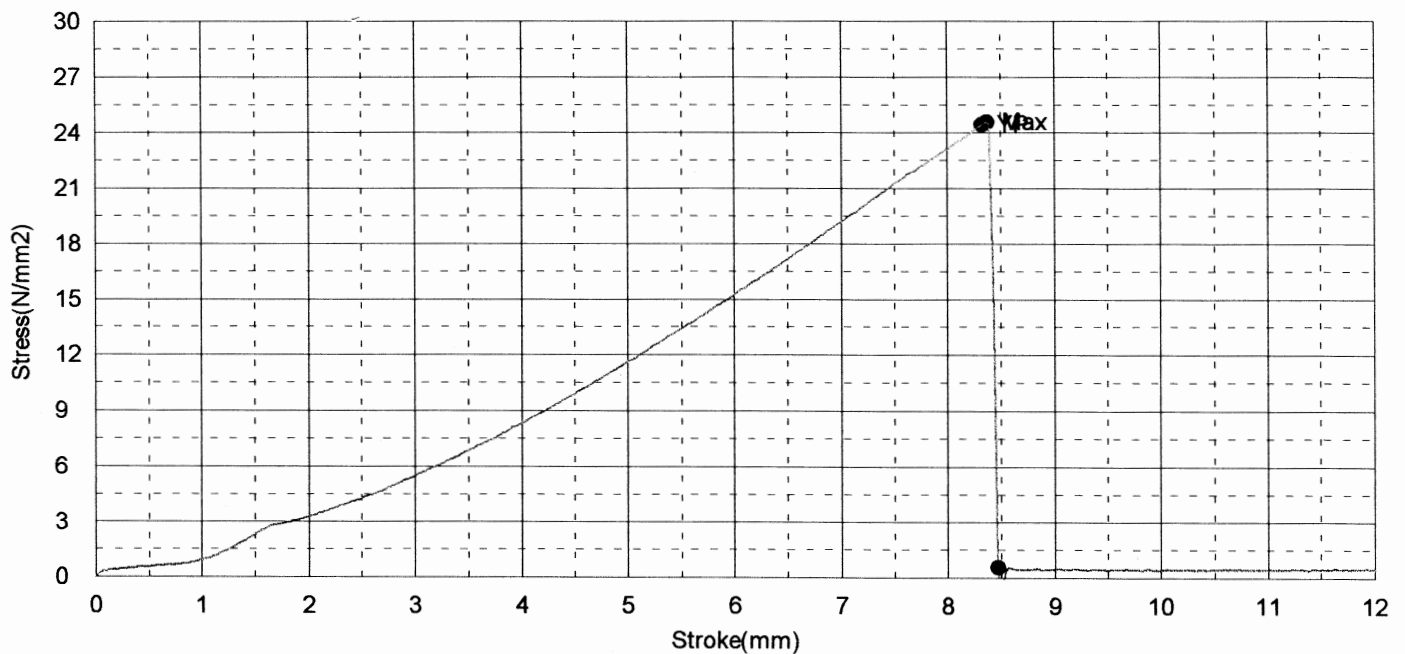
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,2600	19,3600	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	6,75313	8,32300	24,4613	16,6460	6,79063

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	8,36550	24,5972	16,7310	,15937	8,46400

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	,57729	16,9280



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK

KERANG 10% KE-4

ITS

(4)

: AZ TEAM

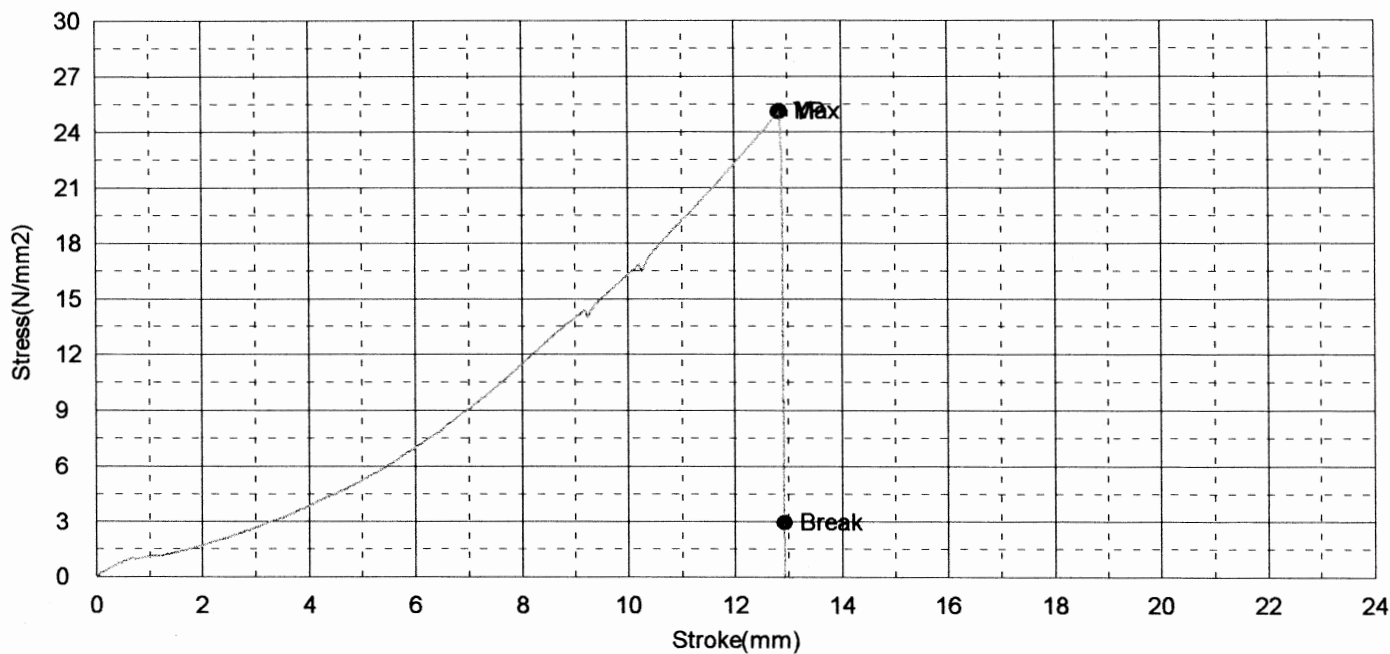
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,0100	19,3500	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	6,80625	12,8220	25,1067	25,6440	6,81875

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	12,8435	25,1528	25,6870	,80625	12,9125

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	2,97407	25,8250



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK

KERANG 10% KE-1

ITS

5

: AZ TEAM

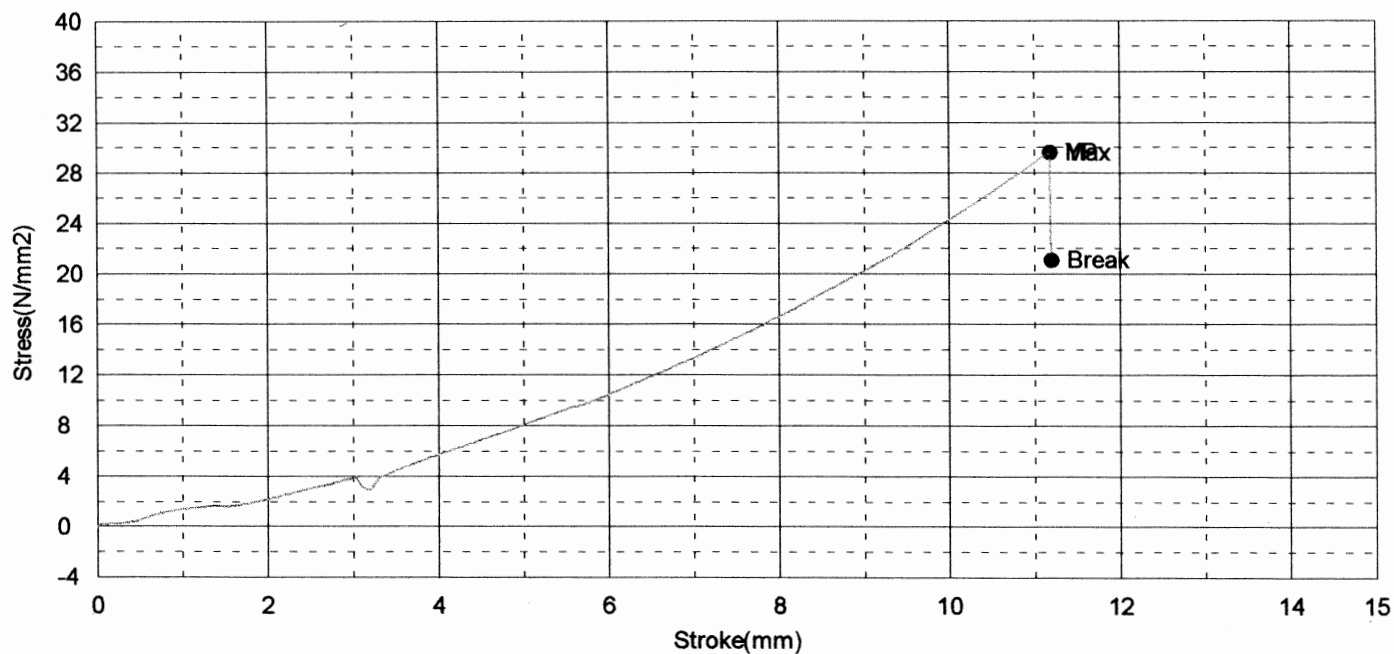
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,5800	19,5100	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	8,42500	11,1775	29,6180	22,3550	8,42500

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	11,1775	29,6180	22,3550	6,00313	11,1920

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	21,1039	22,3840



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK

KERANG 20% KE-1

ITS

: AZ TEAM

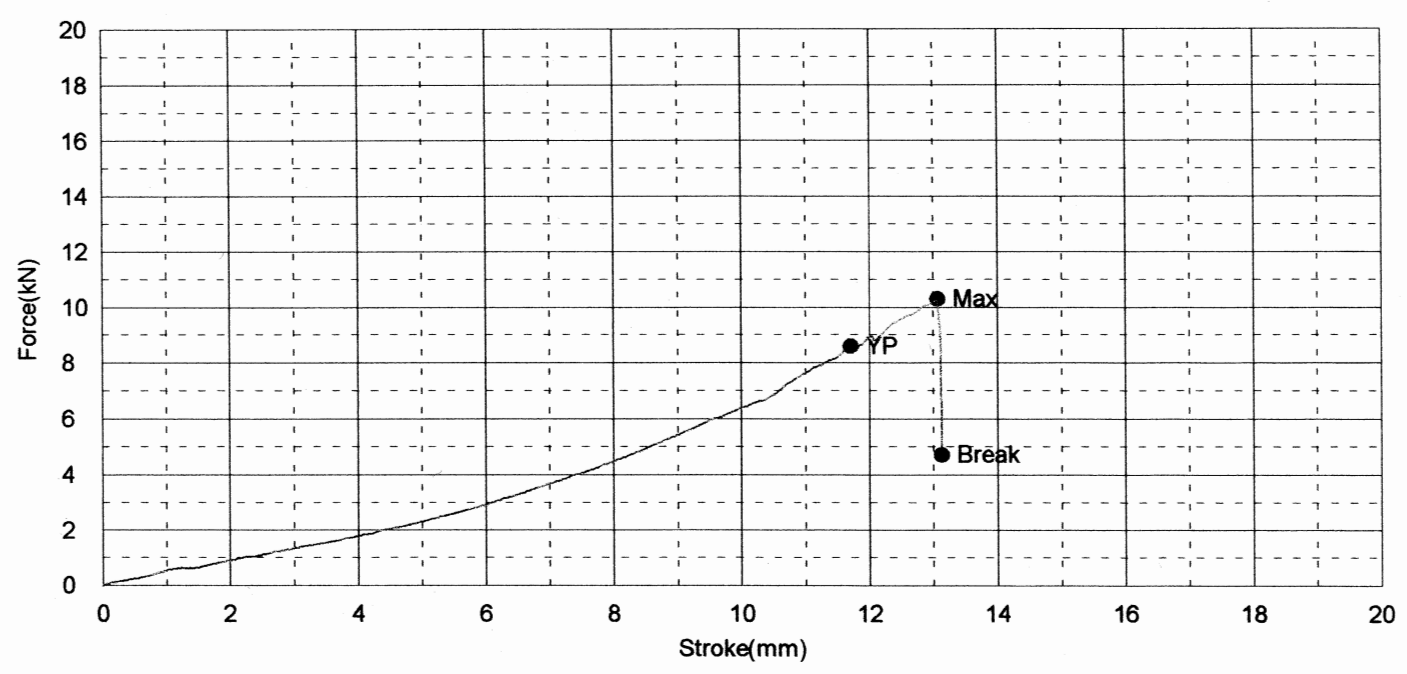
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,2000	19,0600	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	8,59688	11,7095	31,7636	23,4190	10,2906

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	13,0635	38,0216	26,1270	4,70937	13,1305

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	17,4001	26,2610



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK

KERANG 20% KE-2

ITS

: AZ TEAM

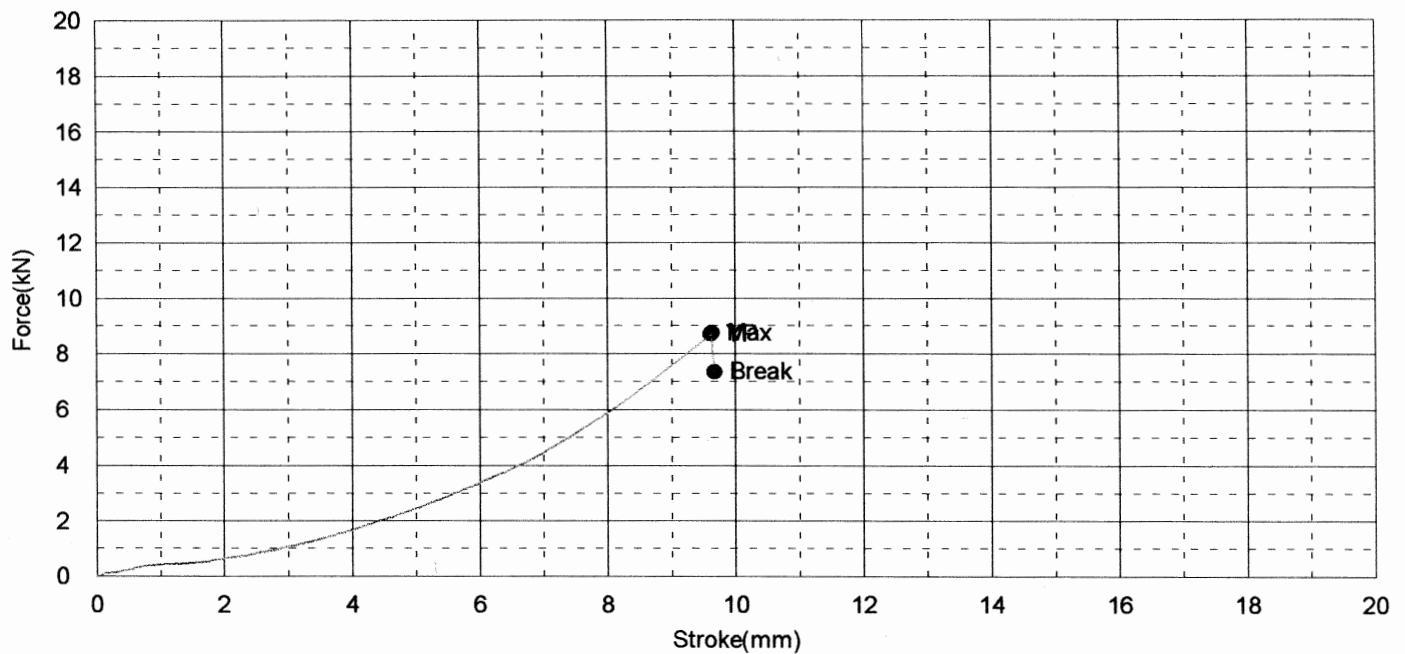
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,8200	19,2400	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	8,70938	9,60400	32,7547	19,2080	8,75625

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	9,62450	32,9310	19,2490	7,35000	9,66400

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	27,6423	19,3280



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK

KERANG 20% KE-1

ITS

: AZ TEAM

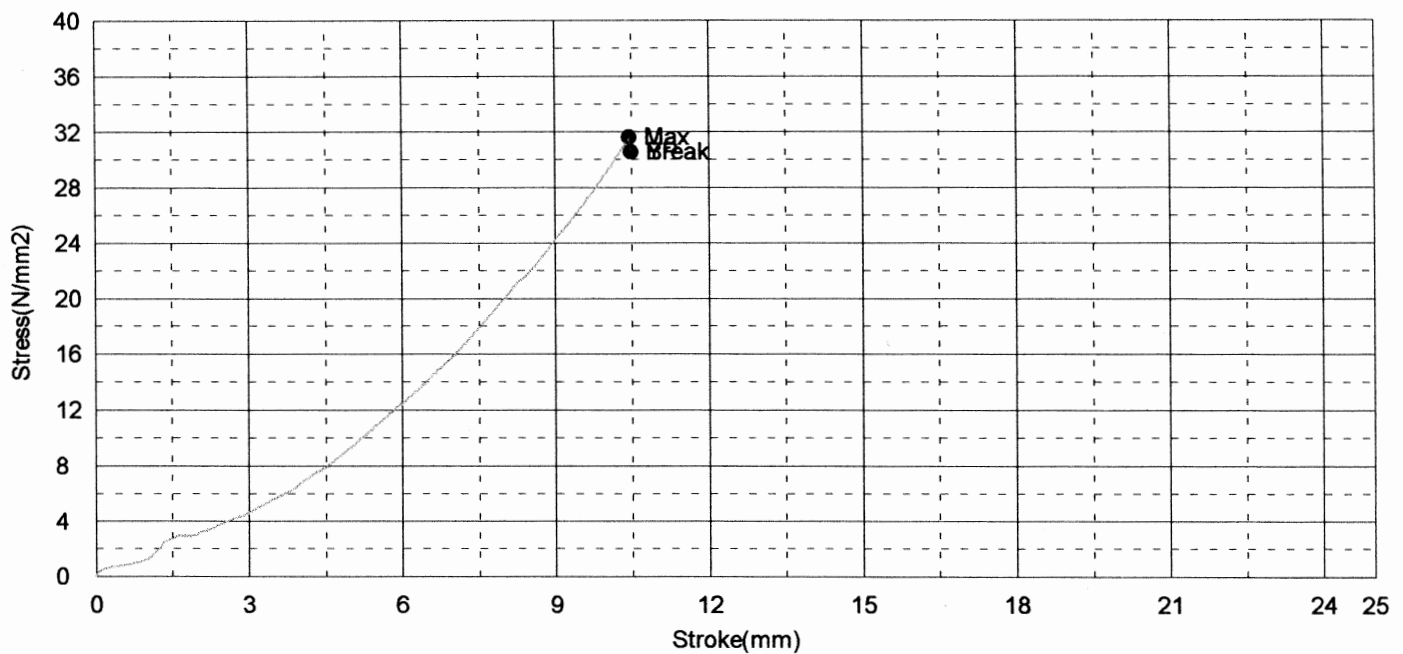
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,8200	19,0000	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	8,02500	10,4790	30,5621	20,9580	8,30937

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	10,4475	31,6451	20,8950	8,02500	10,4790

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	30,5621	20,9580



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK

KERANG 20% KE-4

ITS

: AZ TEAM

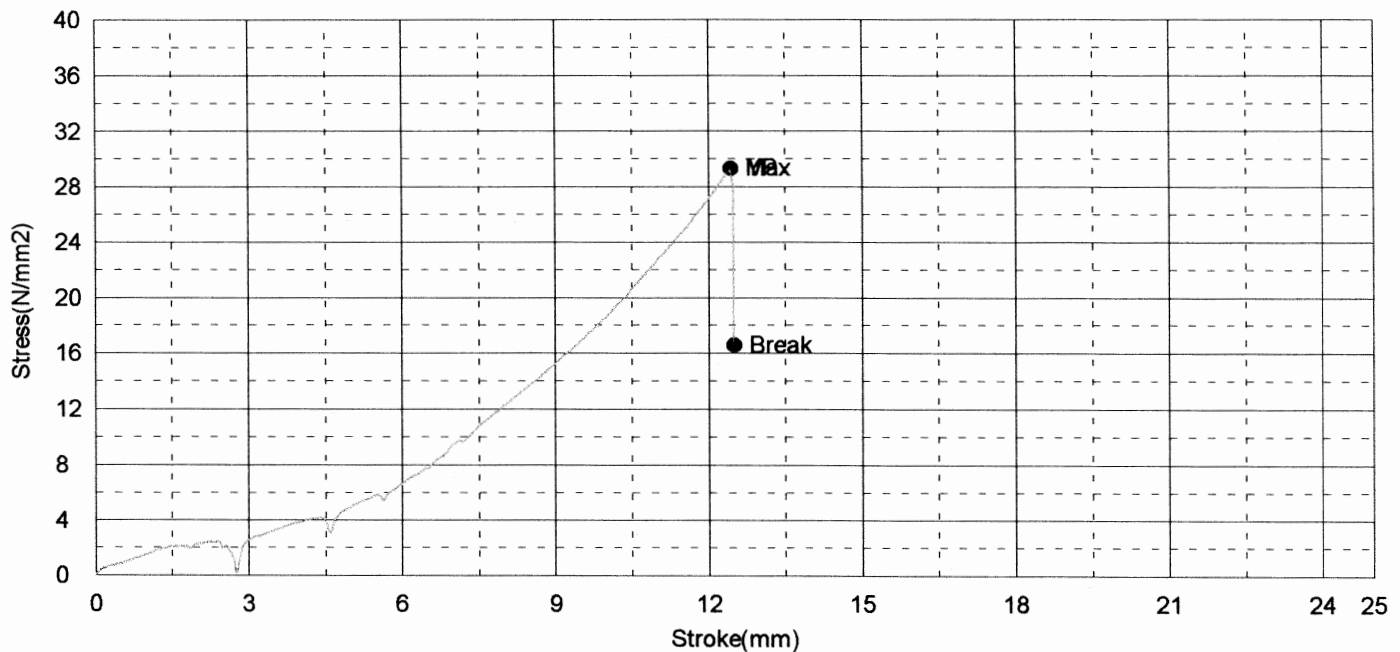
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,8200	19,0000	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	7,69688	12,4270	29,3125	24,8540	7,69688

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	12,4270	29,3125	24,8540	4,36250	12,4890

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	16,6140	24,9780



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK

KERANG 20% KE-2

ITS

: AZ TEAM

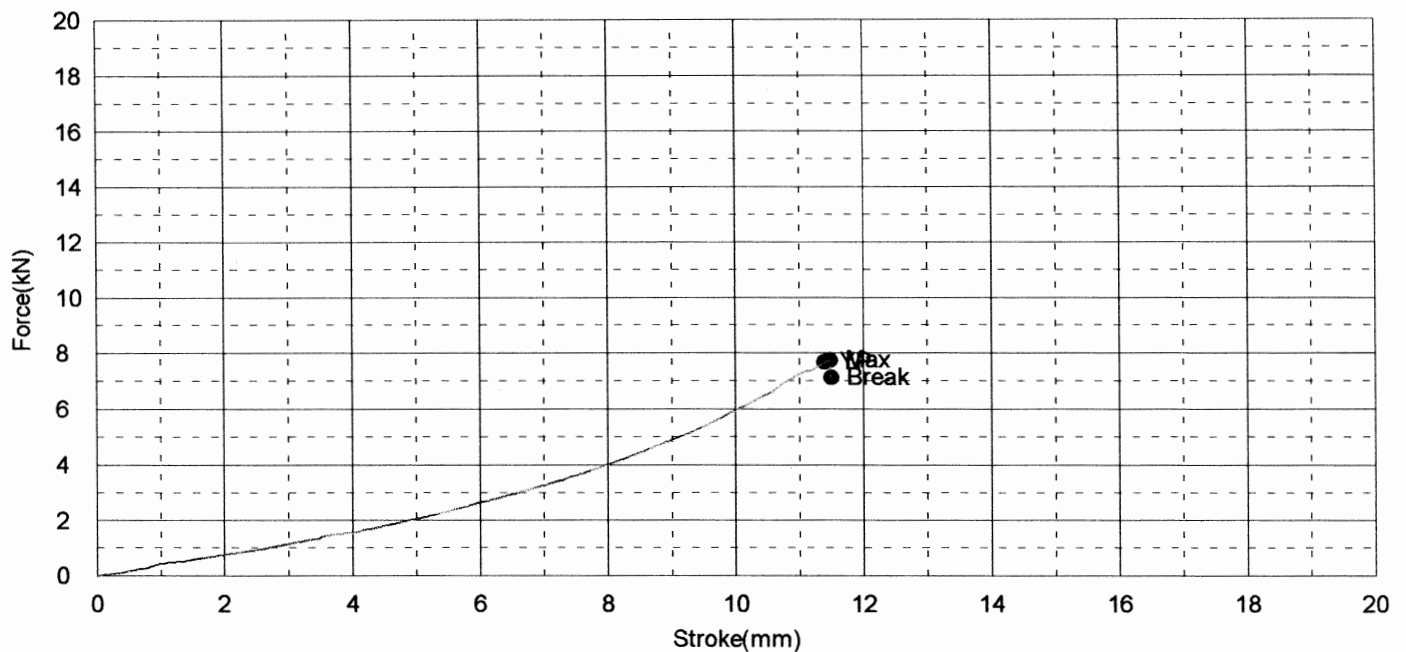
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,8200	19,2400	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	7,67812	11,3810	28,8763	22,7620	7,74687

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	11,4710	29,1349	22,9420	7,12500	11,4950

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	26,7961	22,9900



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK

KERANG 30% KE-2

ITS

: AZ TEAM

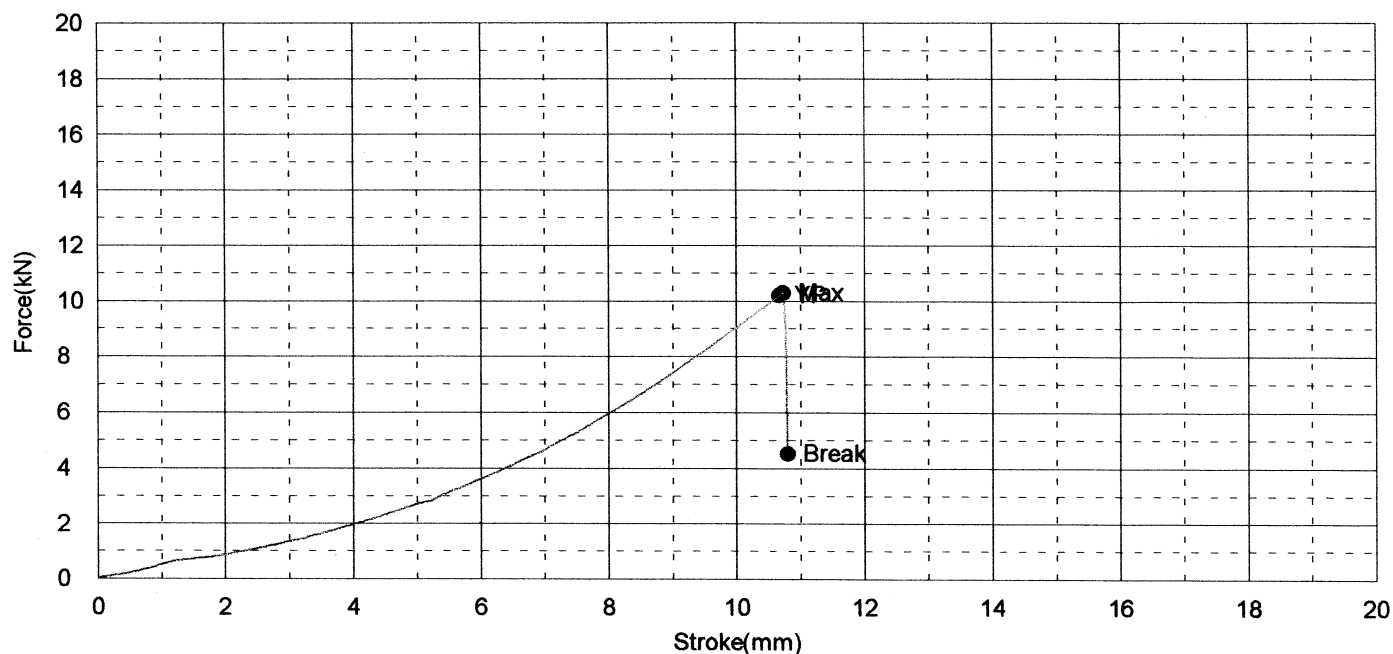
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,8200	19,2000	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	10,2063	10,6640	38,4642	21,3280	10,3094

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	10,7255	38,8529	21,4510	4,52812	10,7935

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	17,0651	21,5870



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK

KERANG 30% KE-1

ITS

: AZ TEAM

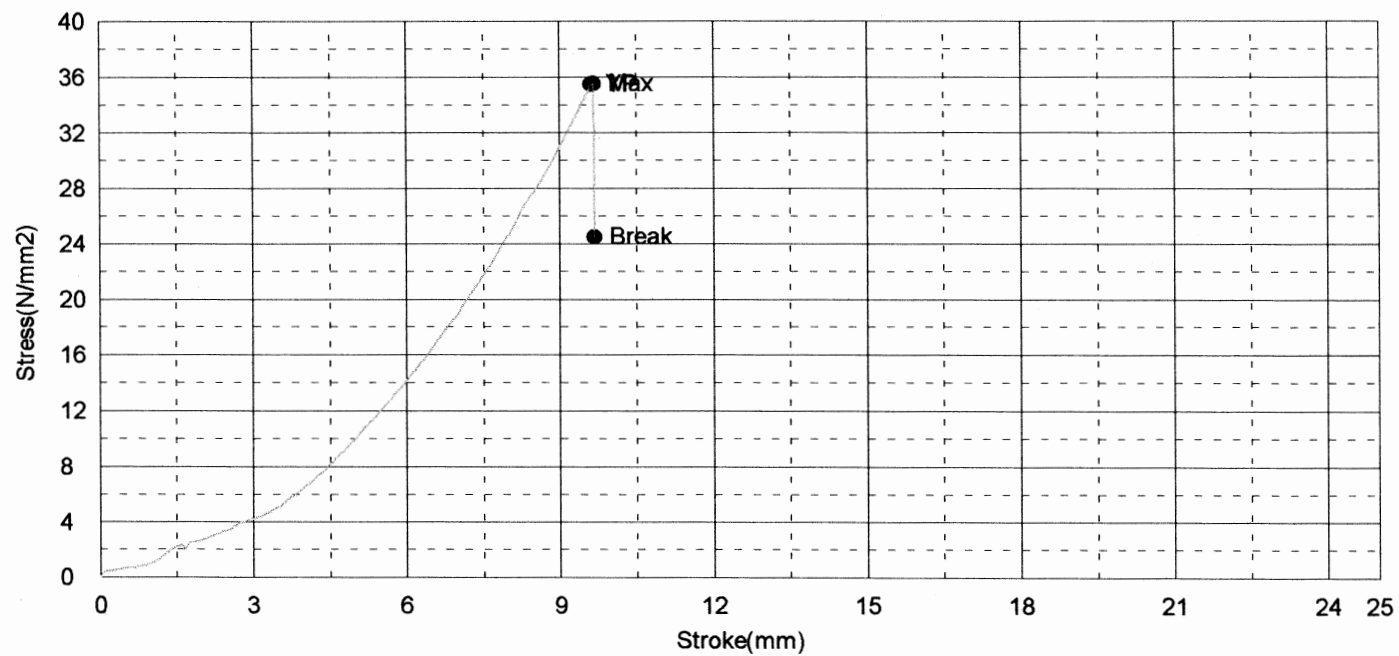
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,1400	19,2000	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	9,63125	9,60800	35,4758	19,2160	9,65312

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	9,66050	35,5564	19,3210	6,65312	9,67100

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	24,5061	19,3420



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK

KERANG 30% KE-3

ITS

3

: AZ TEAM

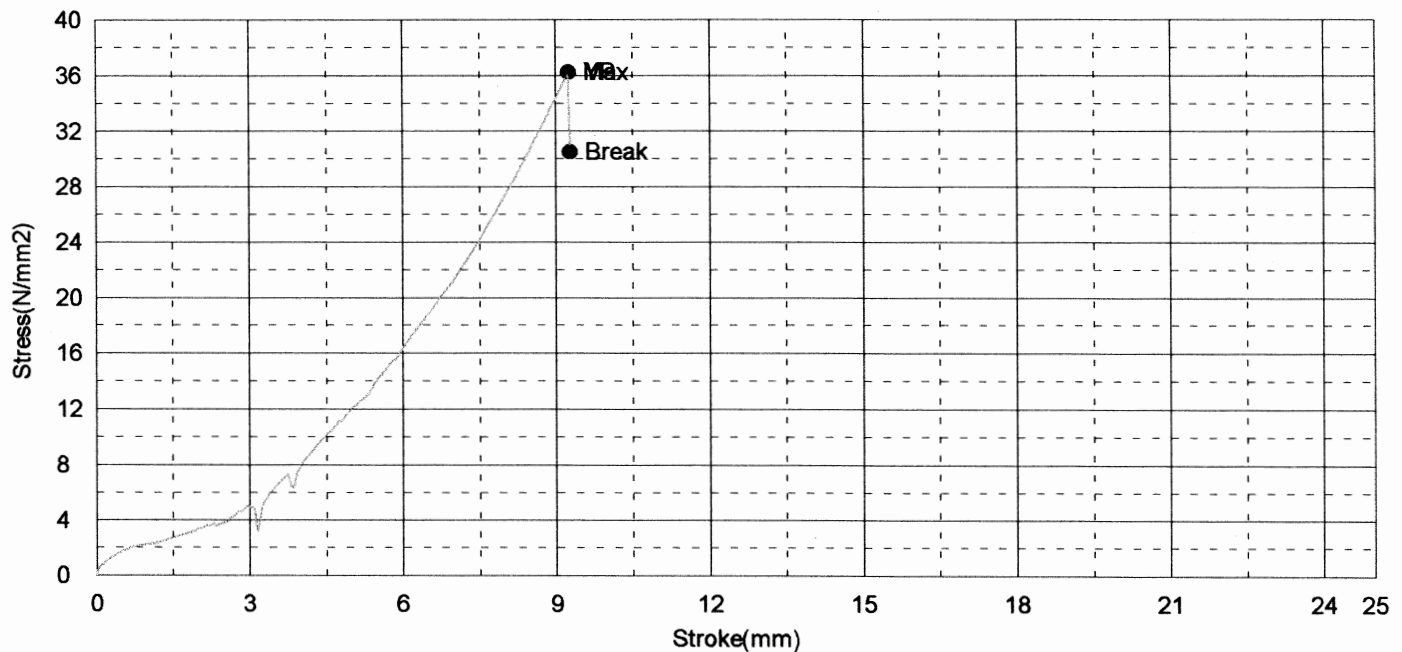
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,1300	19,1600	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	9,81250	9,23850	36,2445	18,4770	9,81250

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	9,23850	36,2445	18,4770	8,26250	9,27250

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	30,5192	18,5450



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK

KERANG 30% KE-2

ITS

: AZ TEAM

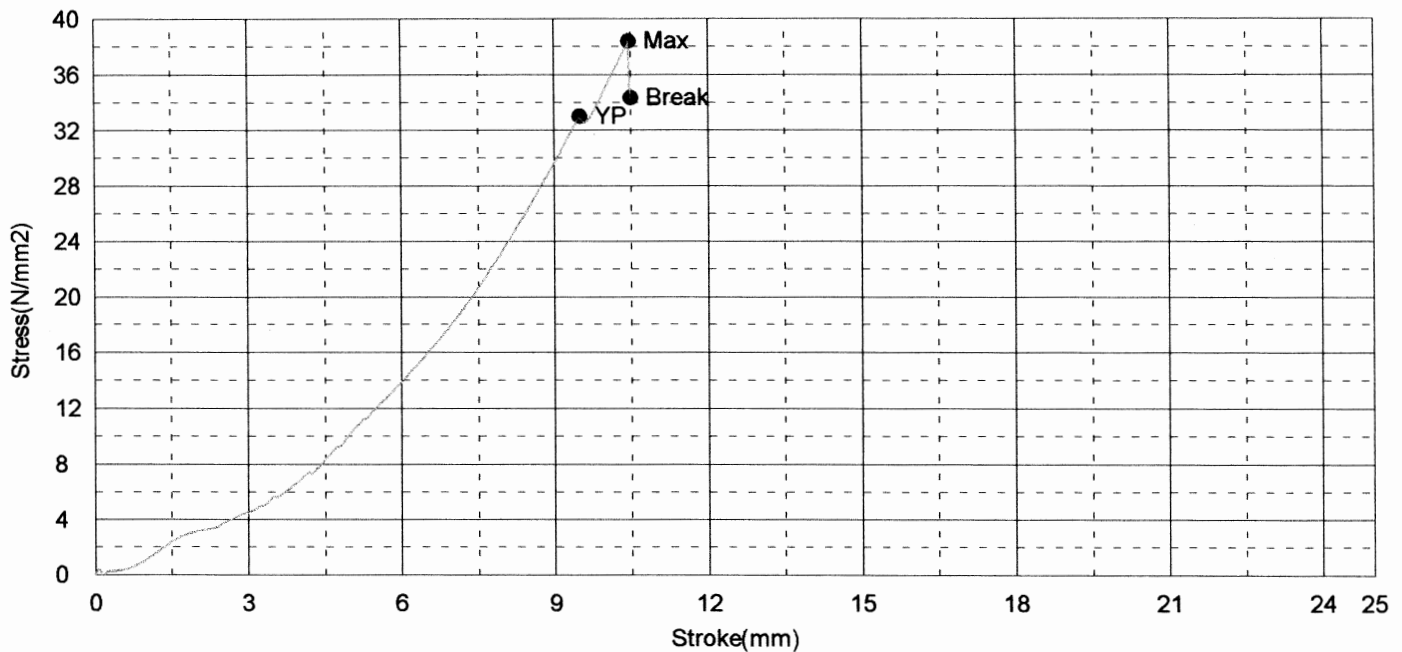
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,0130	19,0200	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	8,79375	9,49200	32,9938	18,9840	10,2375

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	10,4510	38,4107	20,9020	9,15938	10,4880

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	34,3656	20,9760



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK

KERANG 30% KE-4

ITS

: AZ TEAM

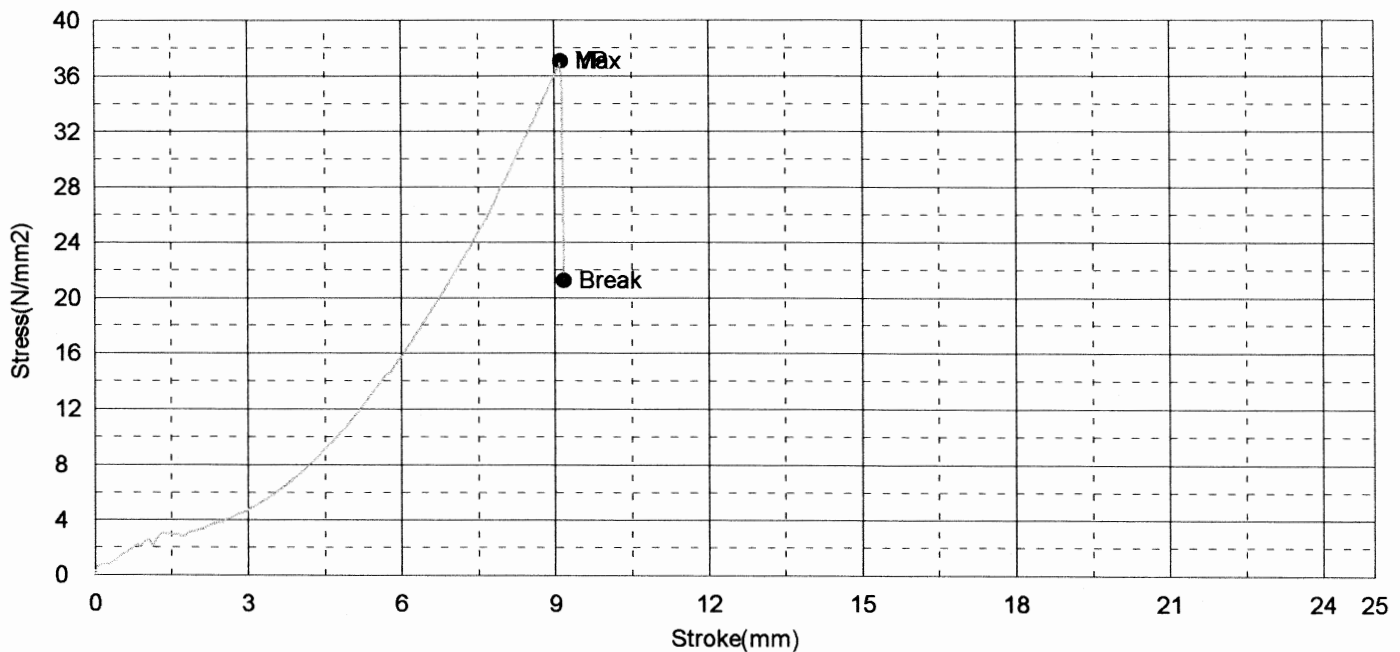
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,8200	19,2000	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	9,83438	9,11100	37,0627	18,2220	9,83438

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	9,11100	37,0627	18,2220	5,63750	9,16800

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	21,2460	18,3360



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK

KERANG 35% KE-1

ITS

: AZ TEAM

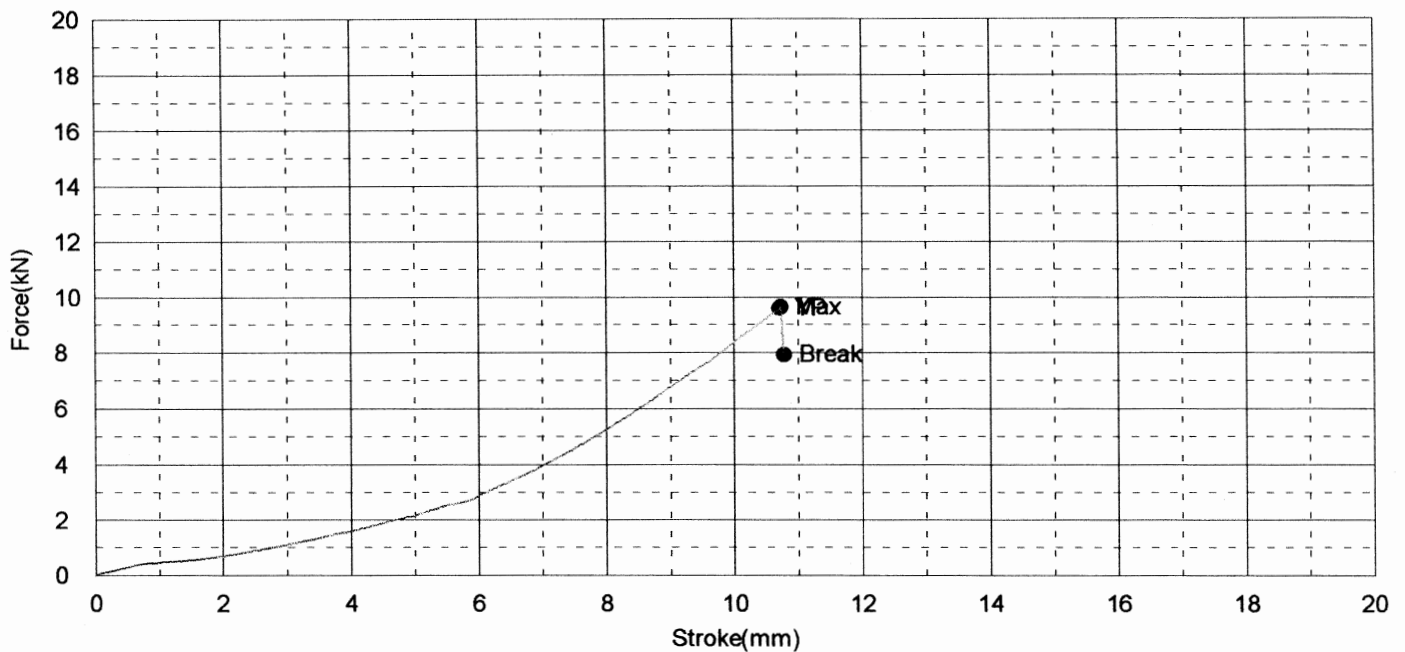
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,7000	19,3600	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1 - 1	9,60938	10,7090	36,2301	21,4180	9,65625

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1 - 1	10,7300	36,4068	21,4600	7,93437	10,7725

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm ²	%
1 - 1	29,9148	21,5450



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK

KERANG 35% KE-1

ITS

: AZ TEAM

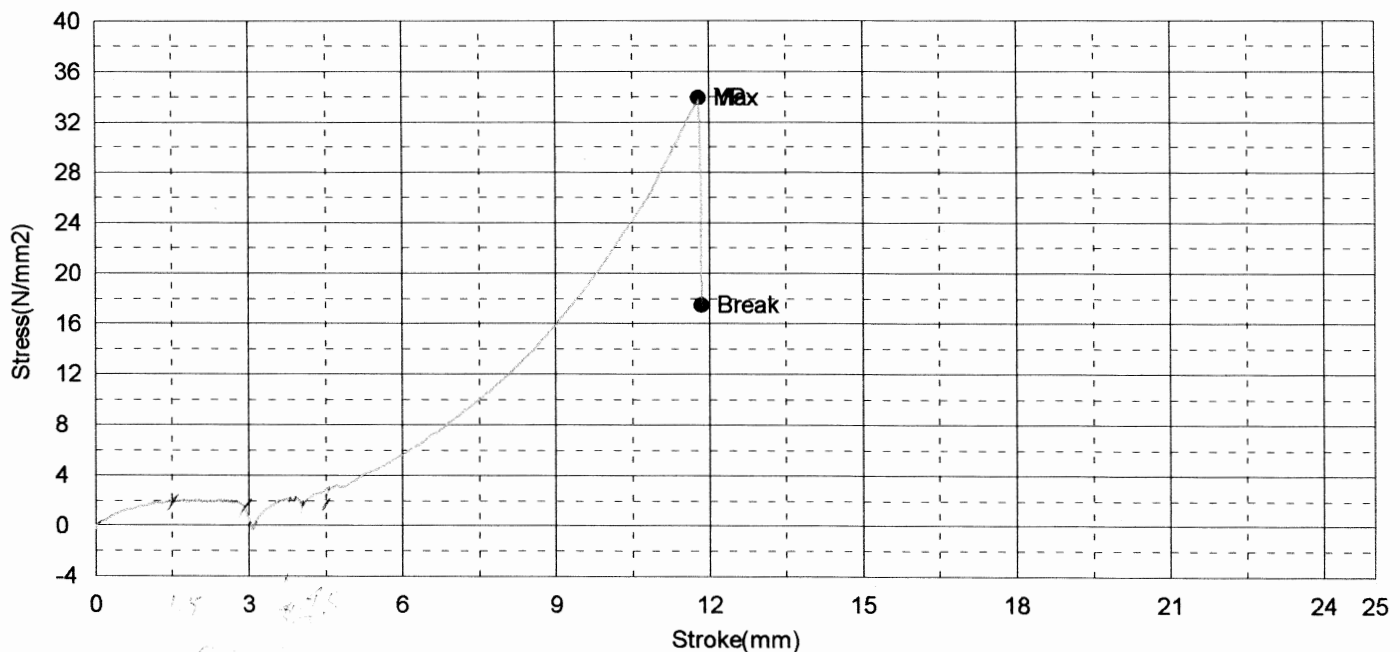
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,7000	19,3500	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	8,99063	11,7975	33,9147	23,5950	8,99063

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	11,7975	33,9147	23,5950	4,63125	11,8490

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	17,4702	23,6980



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK

KERANG 35% KE-2

ITS

: AZ TEAM

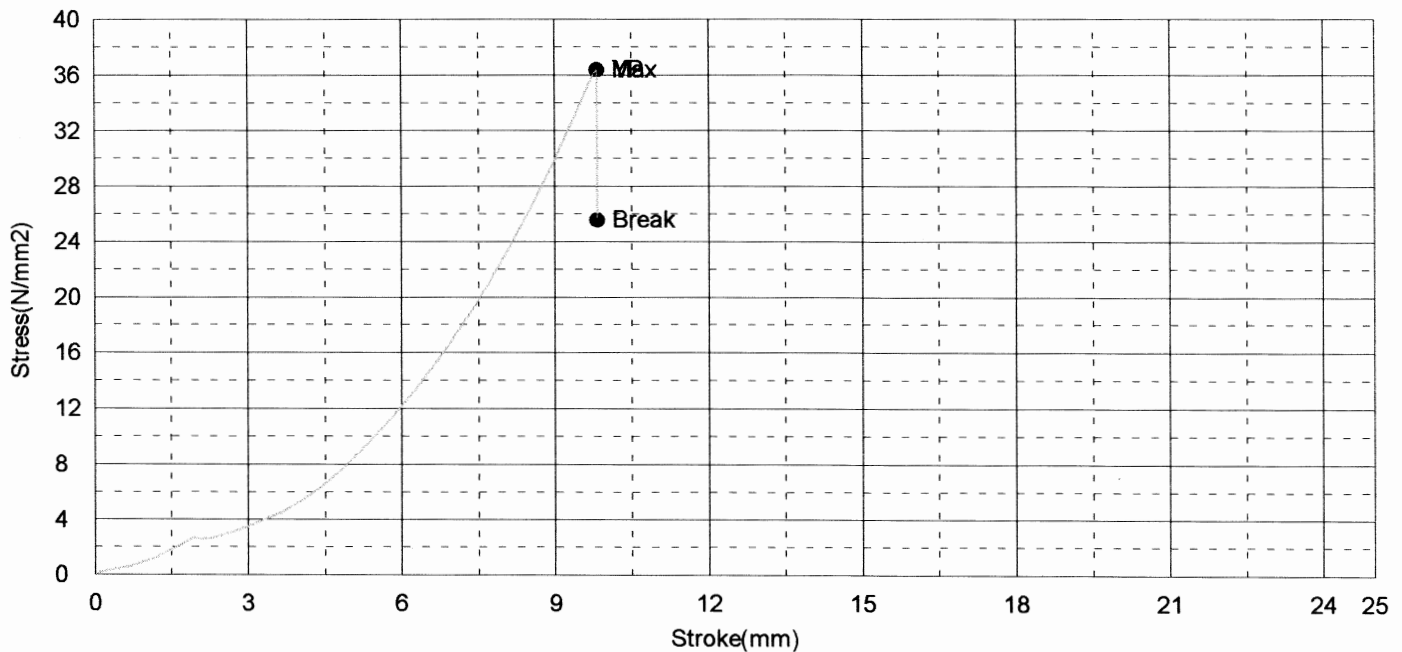
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,2300	19,0300	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	9,85312	9,81950	36,3857	19,6390	9,85312

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	9,81950	36,3857	19,6390	6,92812	9,81800

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	25,5842	19,6360



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK

KERANG 35% KE-3

ITS

: AZ TEAM

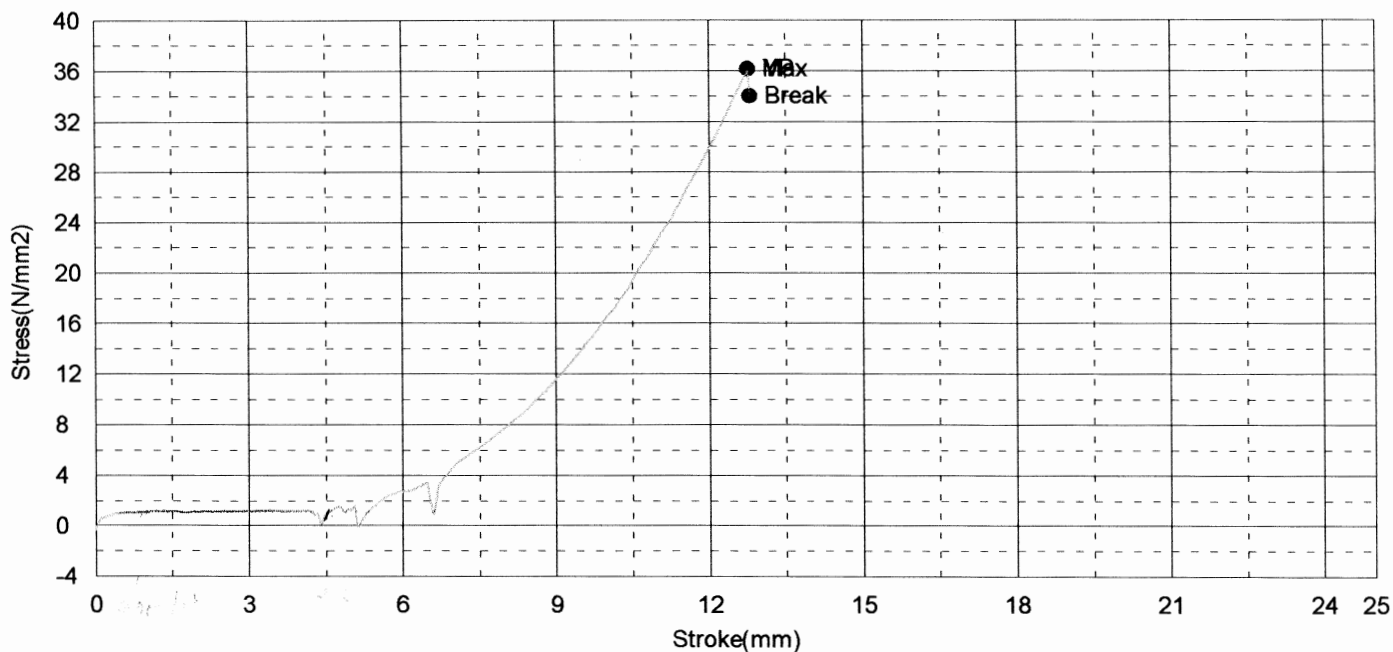
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,0200	19,2900	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	9,77812	12,7610	36,1556	25,5220	9,77812

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	12,7610	36,1556	25,5220	9,20938	12,7990

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	34,0526	25,5980



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK

KERANG 35% KE-4

ITS

: AZ TEAM

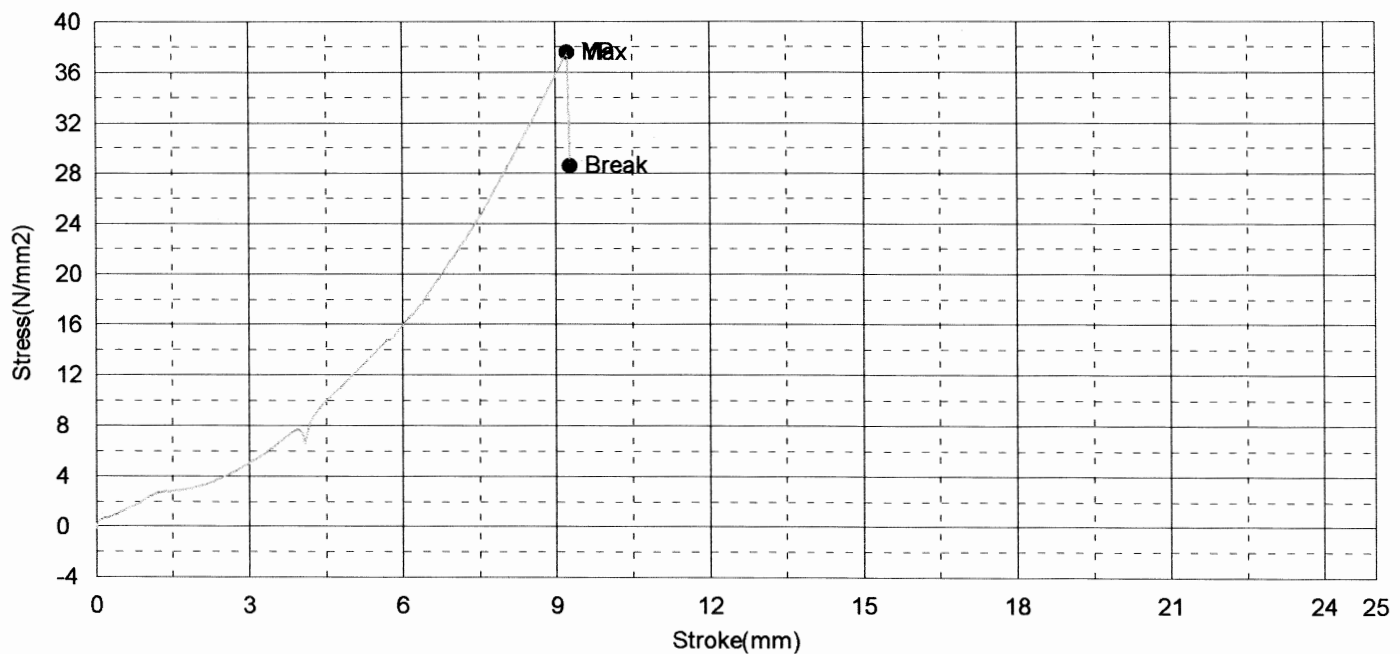
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,8500	19,3100	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	10,0531	9,21750	37,5897	18,4350	10,0531

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	9,21750	37,5897	18,4350	7,65312	9,27150

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	28,6159	18,5430



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK

KERANG 40% KE-1

ITS

: AZ TEAM

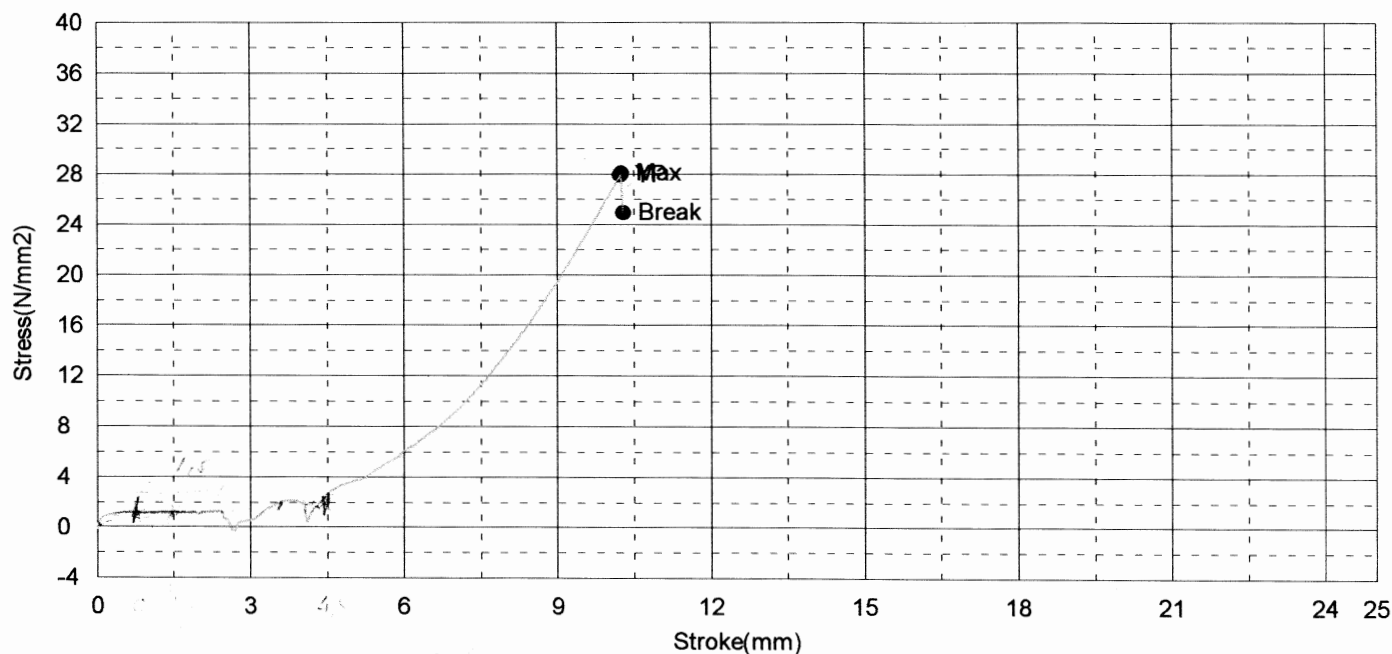
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,2600	18,6300	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	7,42500	10,2160	27,9489	20,4320	7,46875

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	10,2365	28,1135	20,4730	6,63750	10,2740

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	24,9846	20,5480



Comment

min 1.5

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK

KERANG 40% KE-2

ITS

: AZ TEAM

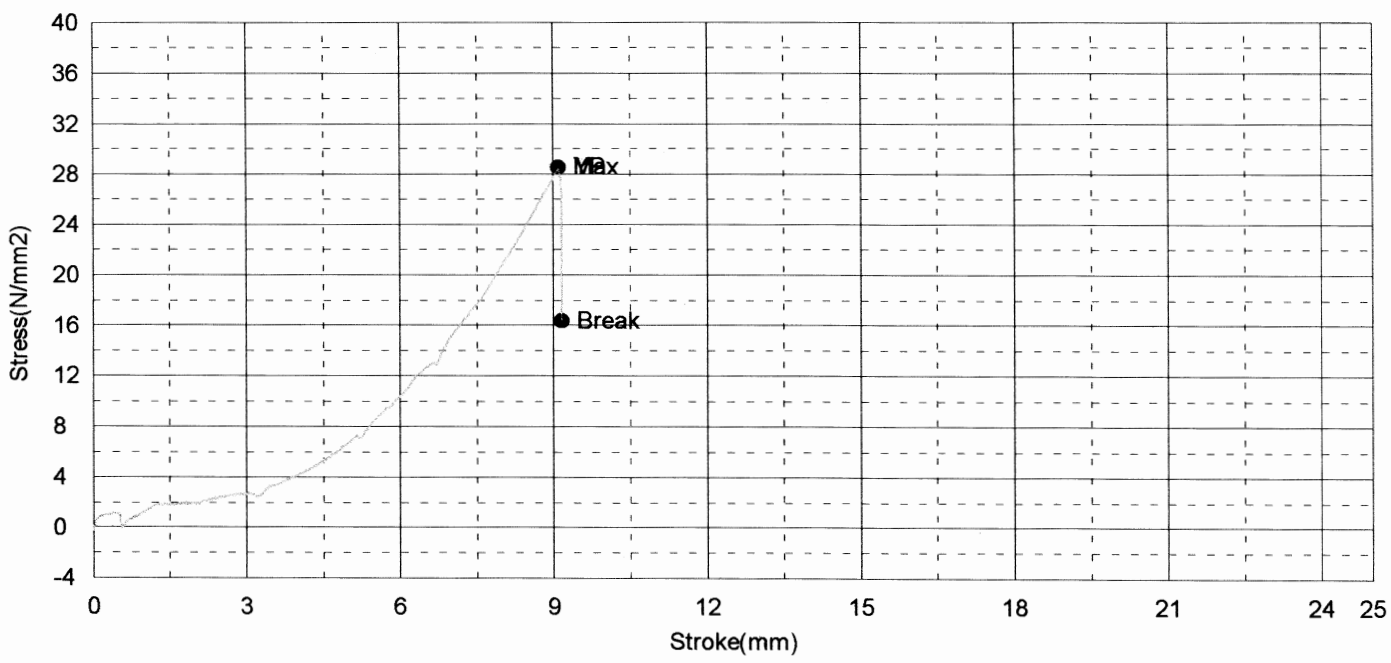
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,2500	18,6600	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	7,59688	9,09300	28,5699	18,1860	7,59688

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	9,09300	28,5699	18,1860	4,36250	9,15700

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	16,4062	18,3140



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK

KERANG 40% KE-3

ITS

3

: AZ TEAM

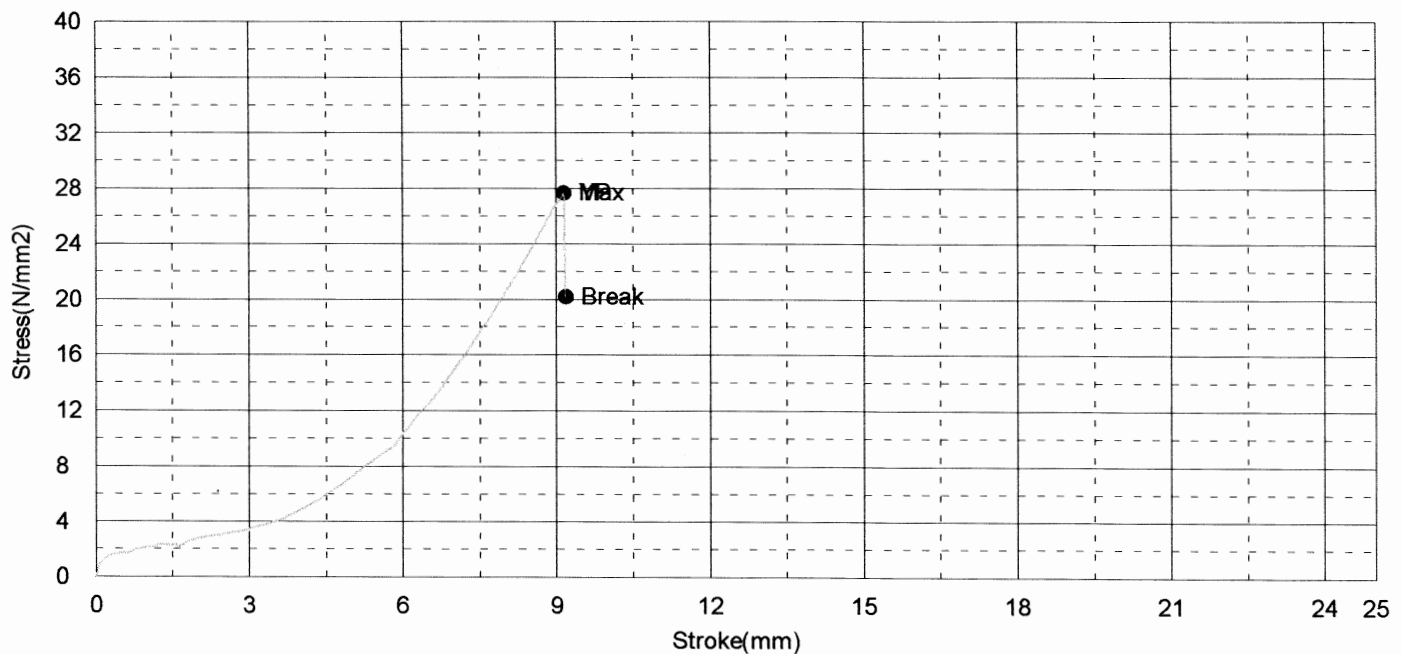
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,3400	18,6600	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	7,40938	9,14400	27,6899	18,2880	7,40938

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	9,14400	27,6899	18,2880	5,40312	9,17900

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	20,1922	18,3580



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK

KERANG 40% KE-2

ITS

: AZ TEAM

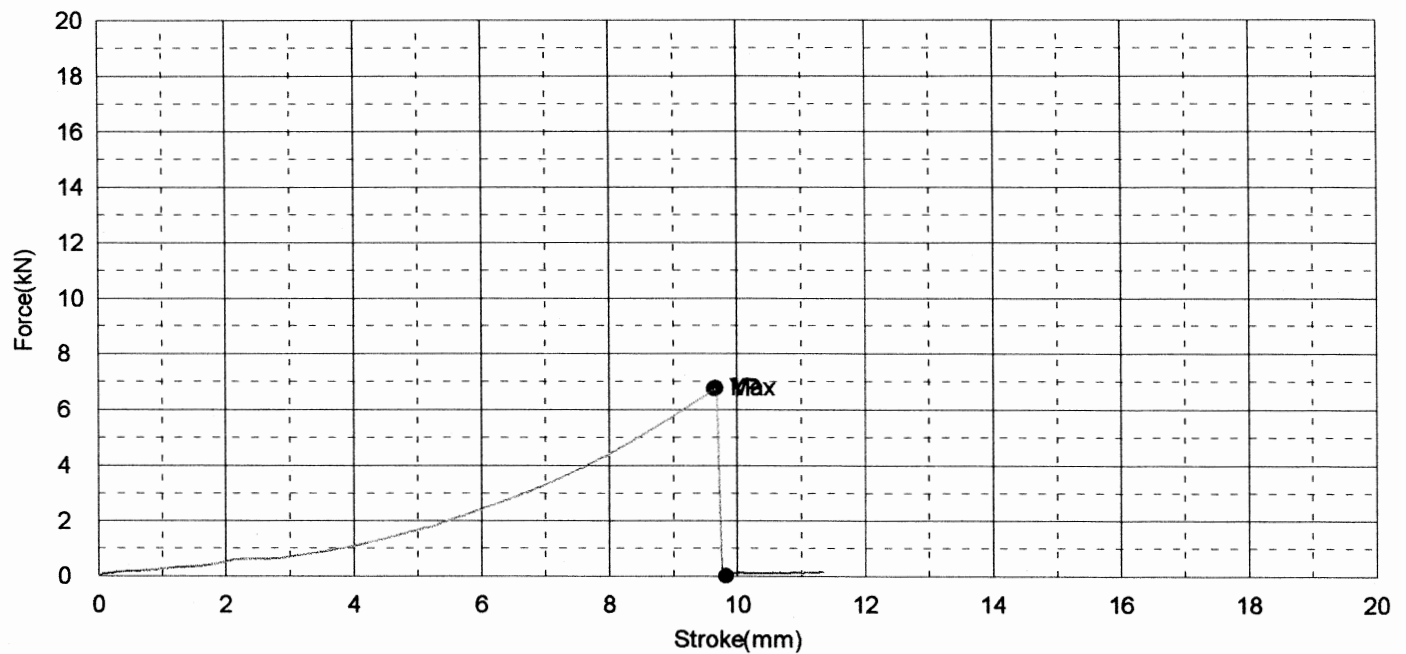
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,2700	18,6800	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1 - 1	6,75625	9,63300	25,3457	19,2660	6,78438

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1 - 1	9,65350	25,4512	19,3070	,02812	9,81050

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm ²	%
1 - 1	,10551	19,6210



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK

KERANG 40% KE-1

ITS

: AZ TEAM

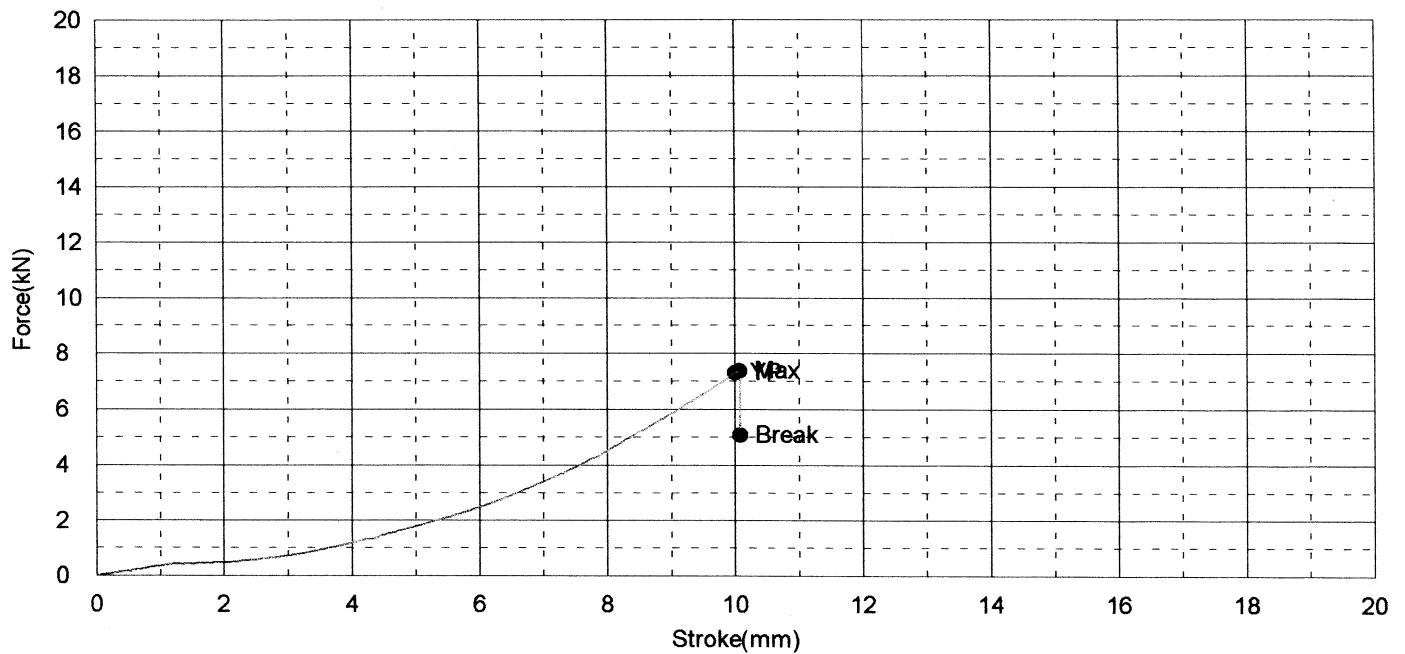
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,9900	19,0100	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	7,31563	9,99300	27,5075	19,9860	7,37187

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	10,0690	27,7190	20,1380	5,07188	10,0800

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	19,0708	20,1600



Comment



LAMPIRAN

HASIL PENGUJIAN *BENDING SANDWICH PANEL*

HASIL UJI BENDING MATERIAL KERANG

20%

ITS AZ TEAM

Date : 2002/01/01

ID

Shape: Plate

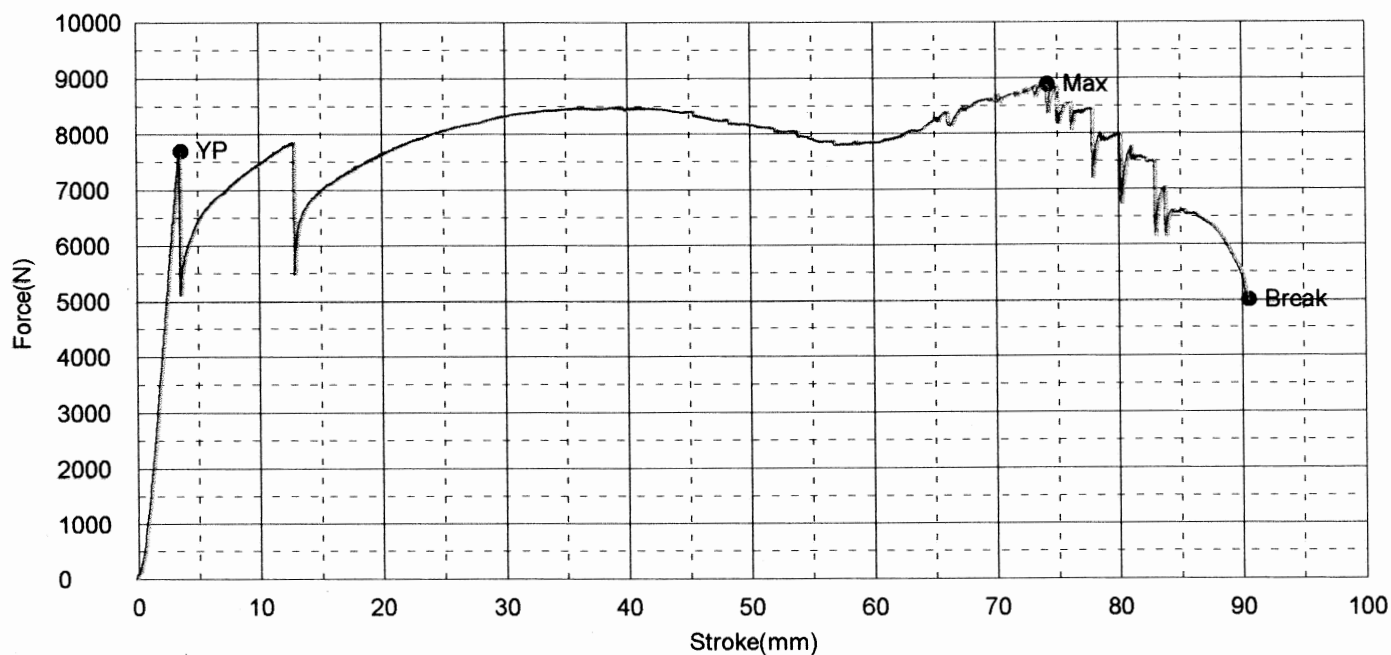
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	22,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	7696,88	3,65550	51,5245	1,83861	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	8890,63	74,1720	59,5158

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	37,3064	4996,88	90,5260	33,4502	45,5321



Comment

4

HASIL UJI BENDING MATERIAL KERANG

20%

ITS AZ TEAM

Date : 2002/01/01

ID

Shape: Plate

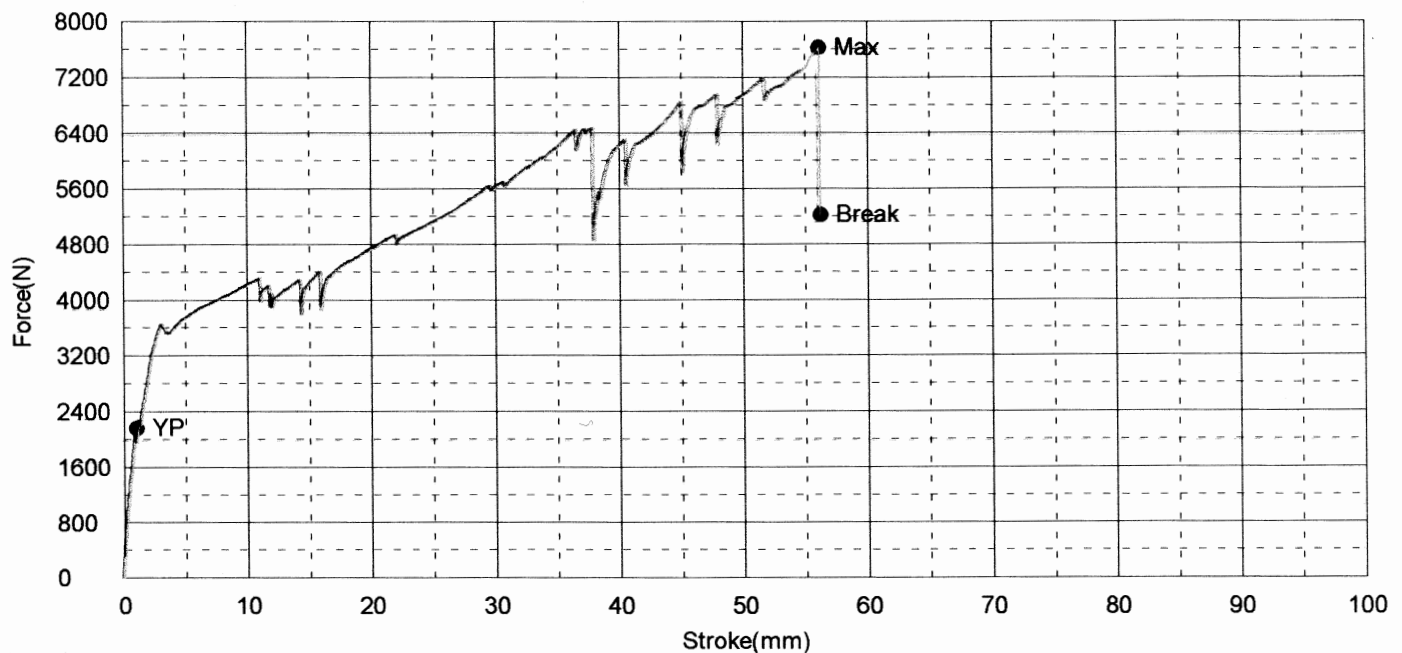
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	22,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	2162,50	1,02450	14,4762	,51529	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	7625,00	56,0925	51,0434

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	28,2130	5221,88	56,1825	34,9564	28,2582



Comment 4

HASIL UJI BENDING MATERIAL KERANG

20% KE 3

ITS AZ TEAM

Date : 2002/01/01

ID

Shape: Plate

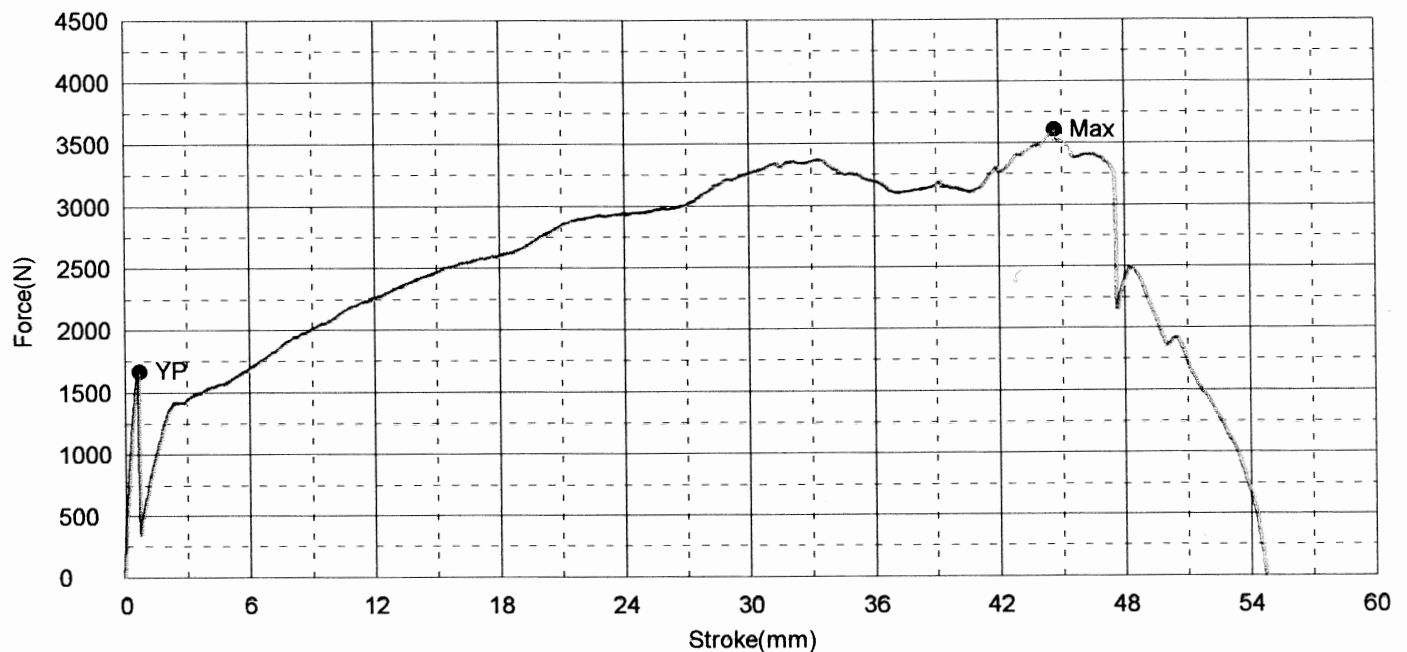
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	22,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	1668,75	,69800	11,1710	,35107	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	3612,50	44,6610	24,1829

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	22,4632	--	--	--	--



Comment 4

HASIL UJI BENDING MATERIAL KERANG

20% KE 4

ITS AZ TEAM

Date : 2002/01/01

ID

Shape: Plate

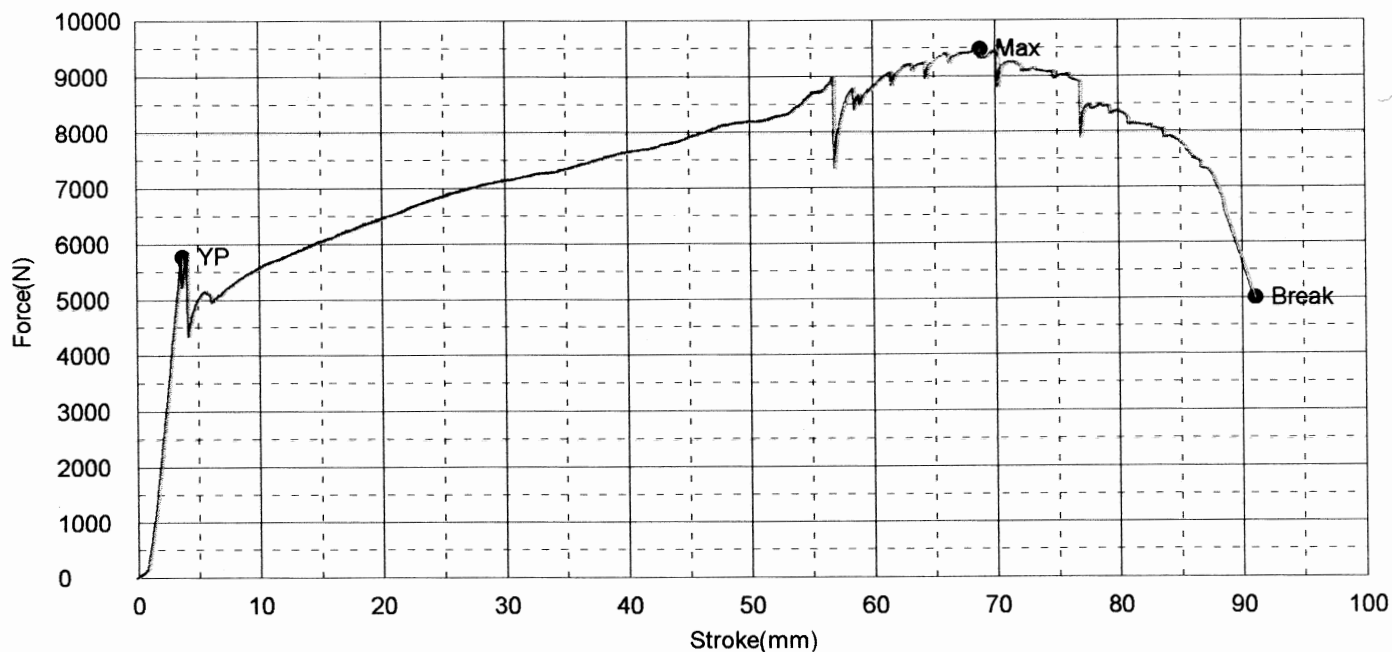
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	22,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	5775,00	3,77200	38,6591	1,89721	-.-

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	-.-	-.-	9478,13	68,7695	63,4486

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	34,5891	5000,00	91,0575	33,4711	45,7994



Comment 4

HASIL UJI BENDING MATERIAL KERANG

20% KE 5

ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 : ID

Shape: Plate

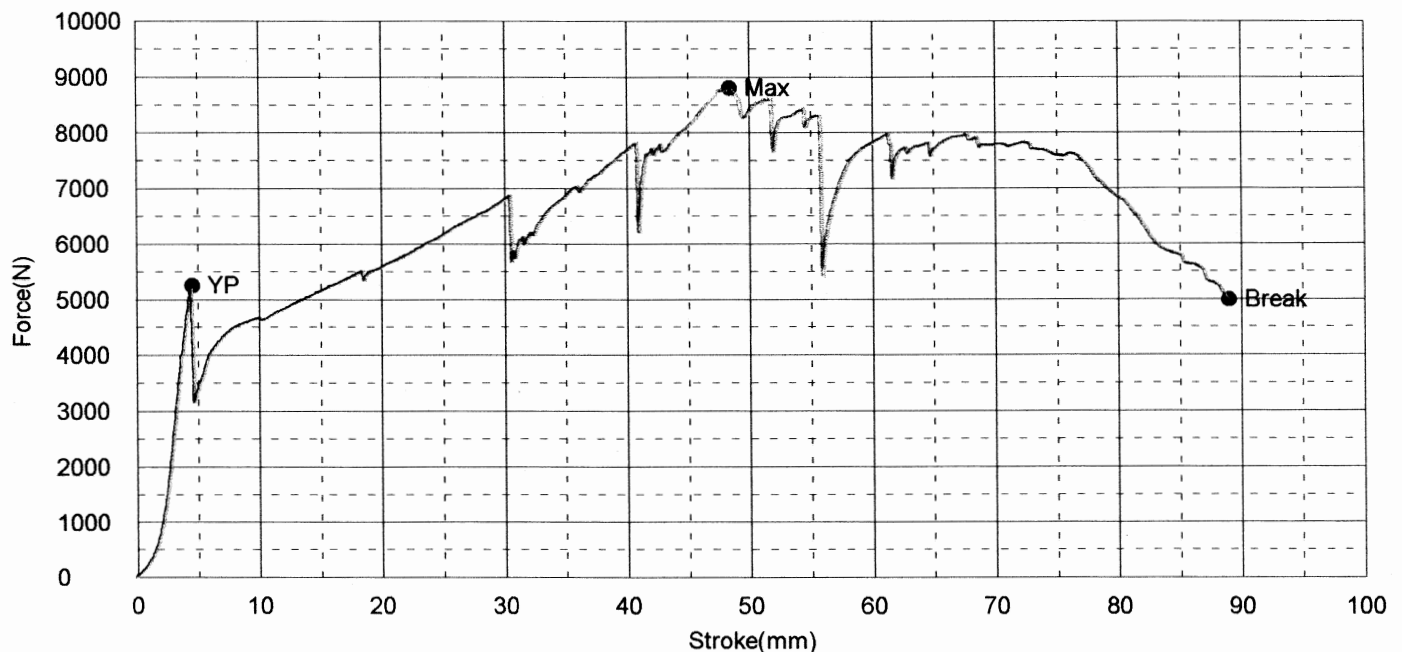
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	22,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	5250,00	4,53350	35,1446	2,28022	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	8803,13	48,3710	58,9300

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	24,3293	4993,75	88,9635	33,4292	44,7462



Comment 4

HASIL UJI BENDING MATERIAL KERANG

30% KE 1

ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10

:

ID

Shape: Plate

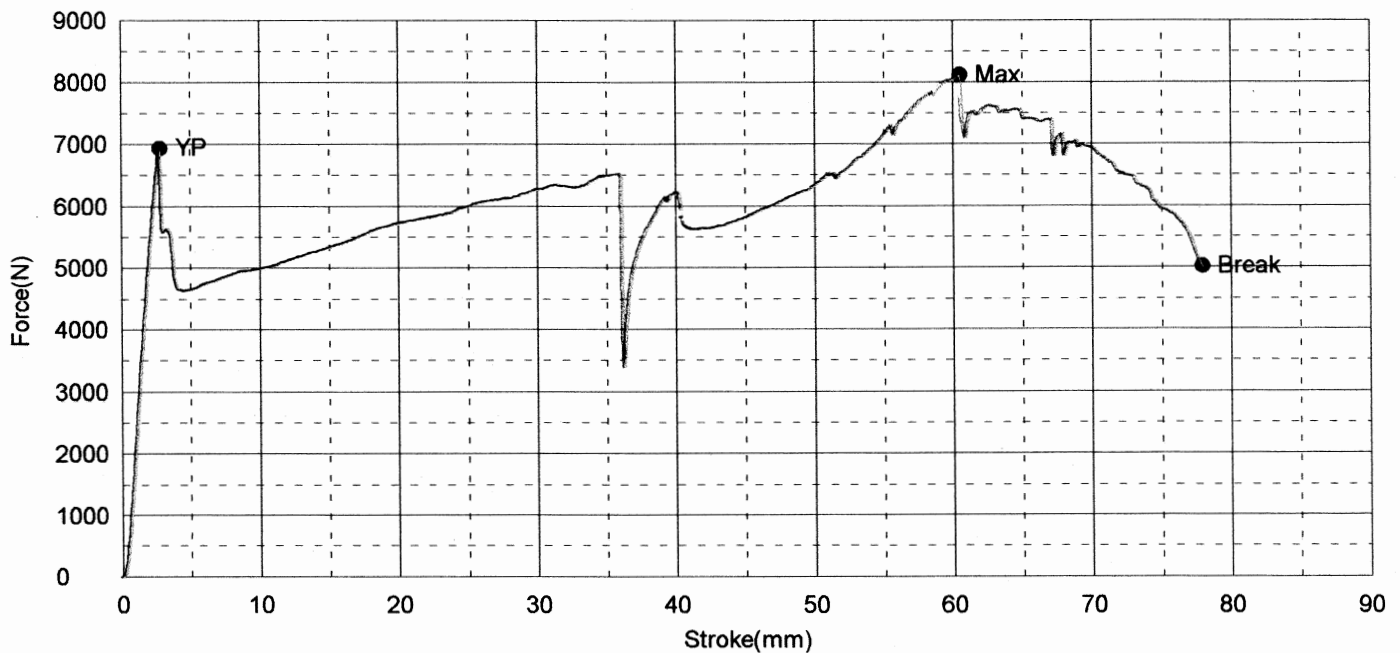
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	22,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	6940,63	2,79000	46,4620	1,40329	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	8115,63	60,4860	54,3277

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	30,4228	5012,50	77,9065	33,5548	39,1848



Comment 4

HASIL UJI BENDING MATERIAL KERANG

30% KE 2

ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10

ID

Shape: Plate

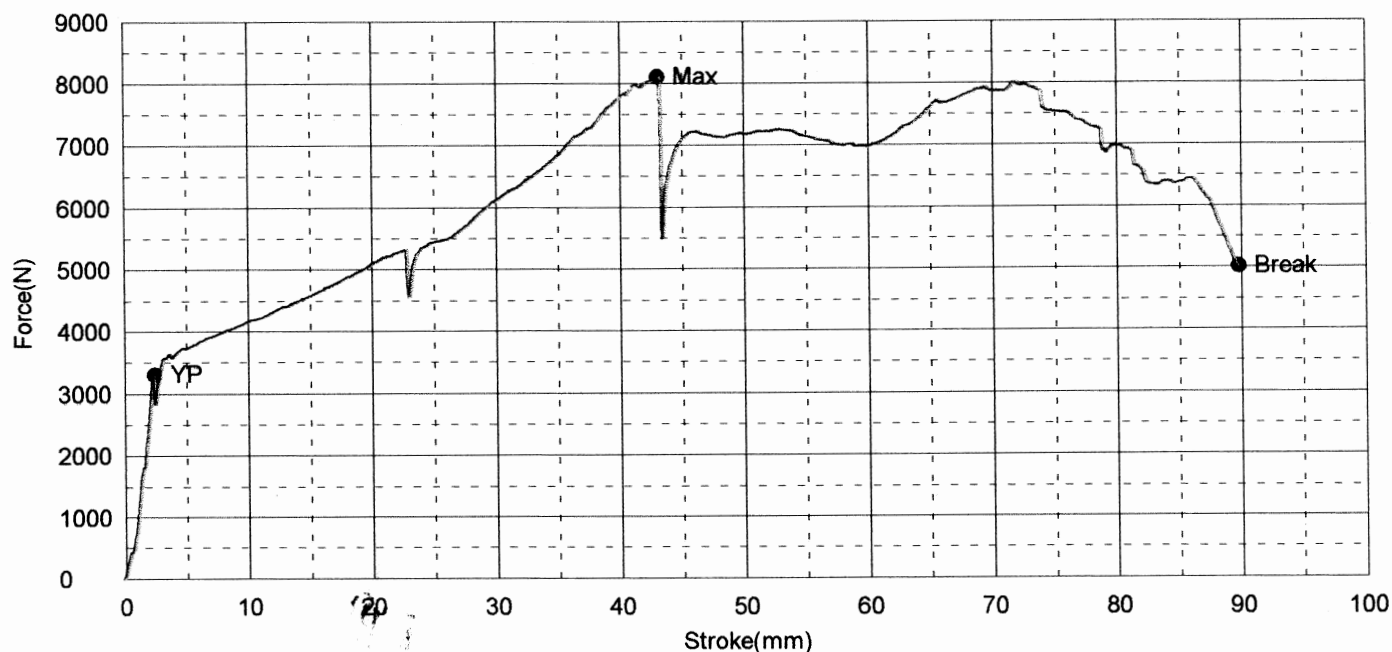
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	22,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	3312,50	2,42450	22,1746	1,21946	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	8112,50	43,0340	54,3068

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	21,6449	5021,88	89,7700	33,6175	45,1518



Comment

4

HASIL UJI BENDING MATERIAL KERANG

30% KE 3

ITS AZ TEAM

Date :

2018/04/10

:

ID

Shape: Plate

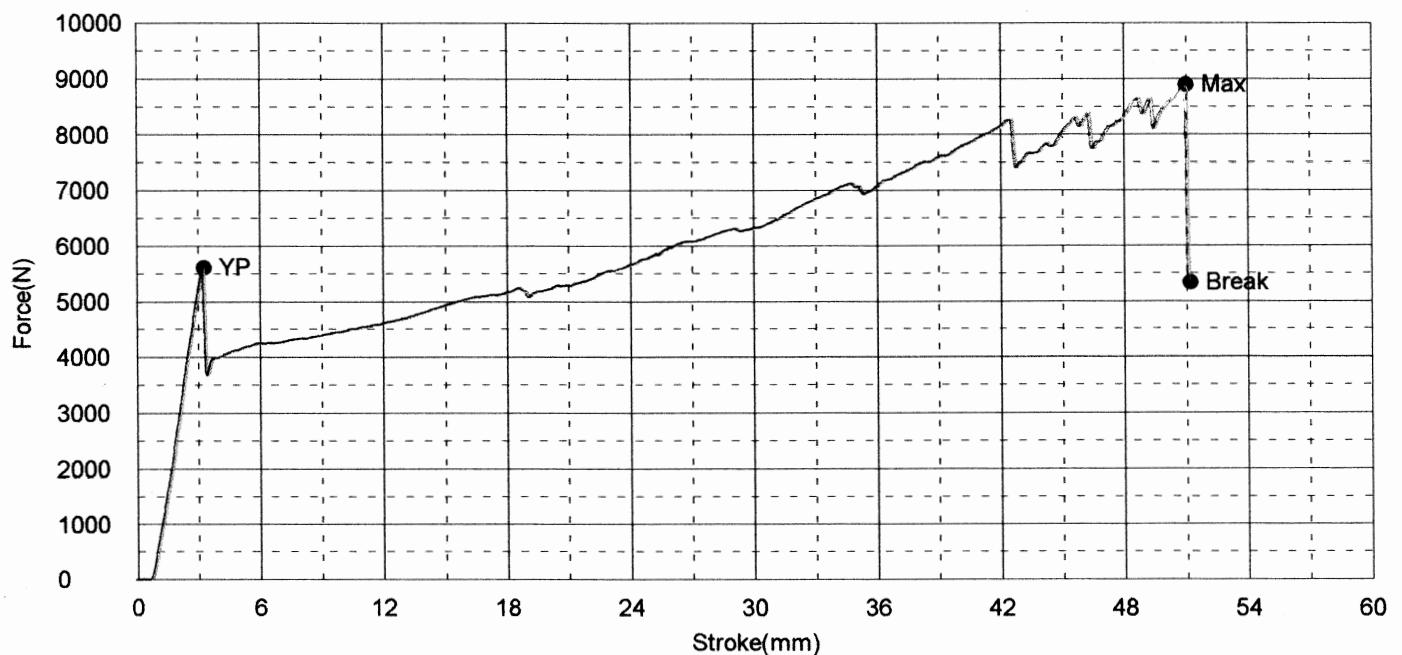
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	22,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	5609,38	3,26500	37,5504	1,64220	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	8893,75	50,9920	59,5367

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	25,6476	5334,38	51,1820	35,7095	25,7431



Comment

4

HASIL UJI BENDING MATERIAL KERANG

30% KE 4

ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10

:

ID

Shape: Plate

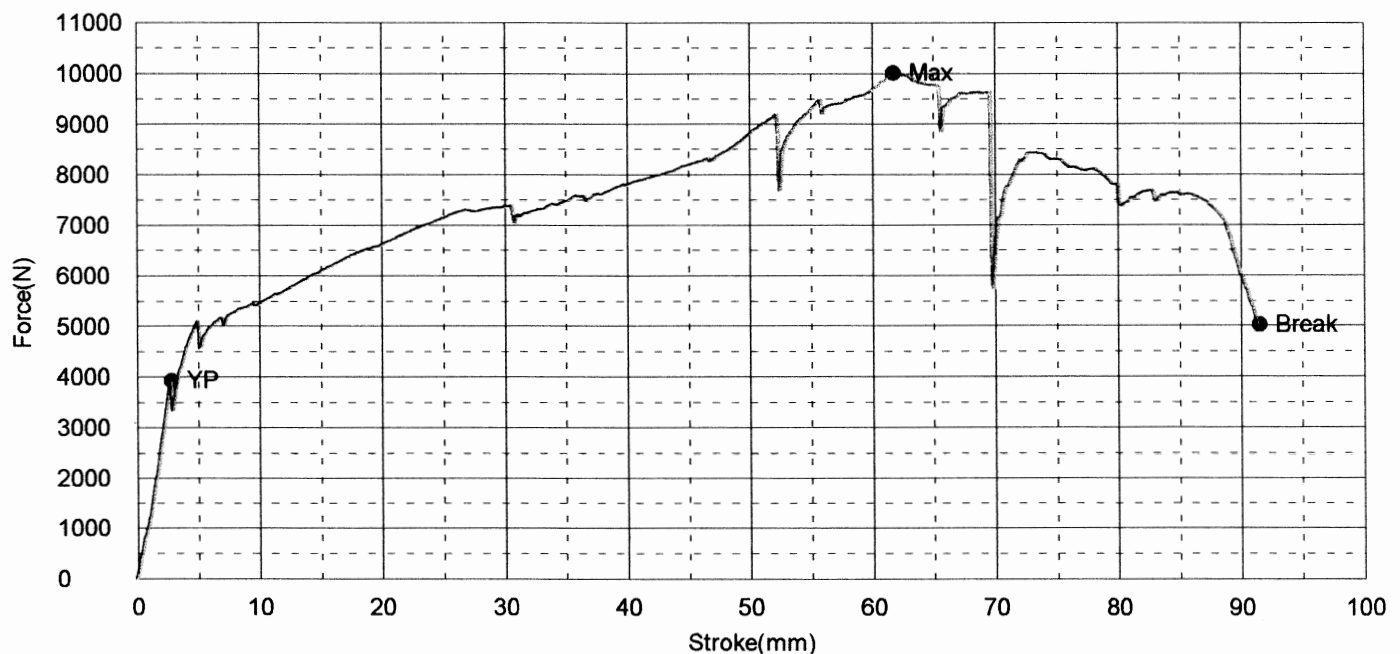
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	22,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	3928,13	2,82850	26,2957	1,42266	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	10012,5	61,6870	67,0258

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	31,0268	5037,50	91,4535	33,7221	45,9986



Comment 4

HASIL UJI BENDING MATERIAL KERANG

30% KE 5

ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 : ID

Shape: Plate

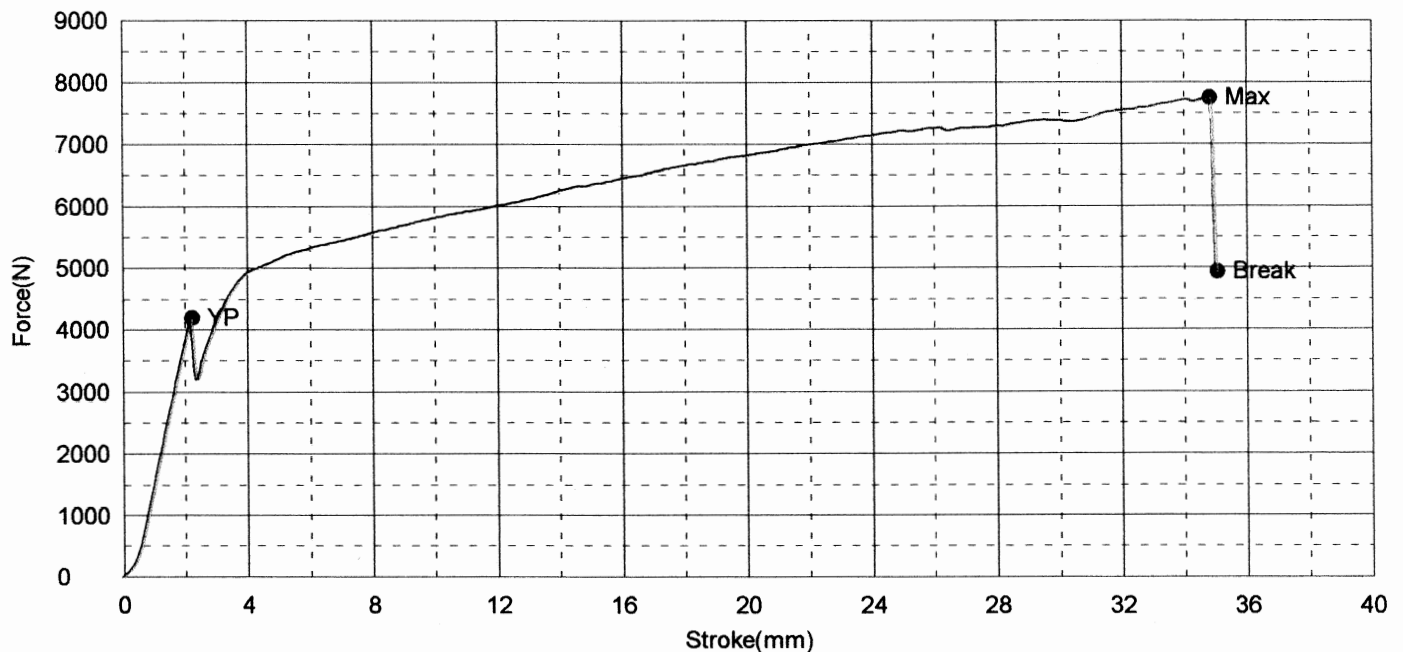
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	22,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	4200,00	2,20900	28,1157	1,11107	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	7756,25	34,8175	51,9220

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	17,5122	4934,38	35,0570	33,0318	17,6327



Comment 4

HASIL UJI BENDING SANDWICH + CLAMSHELL 20% KE 1 ITS AZ TEAM

Date : 2002/01/01

ID

Shape: Plate

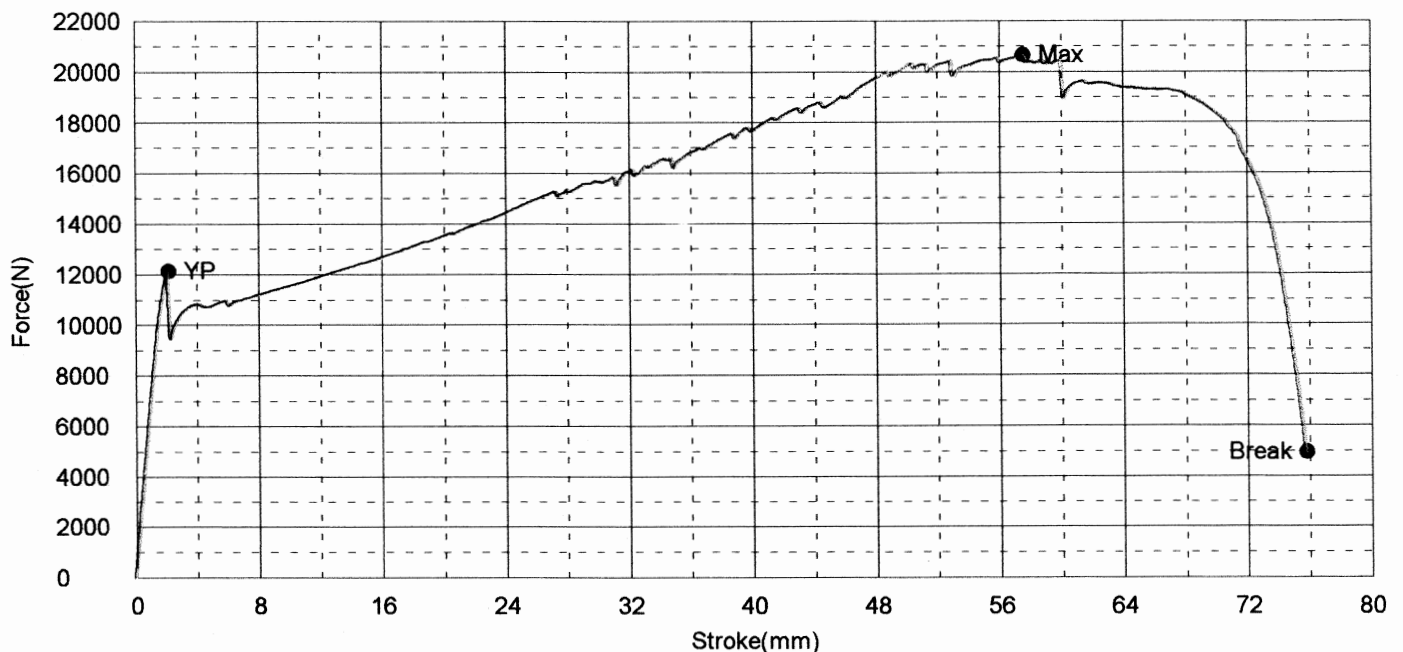
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	27,0000	75,0000	75,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	12143,8	2,13500	24,9871	6,14880	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	20662,5	57,5245	42,5154

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	165,671	4956,25	75,7910	10,1980	218,278



Comment /

HASIL UJI BENDING SANDWICH + CLAMSHELL 20% KE 2 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 : ID

Shape: Plate

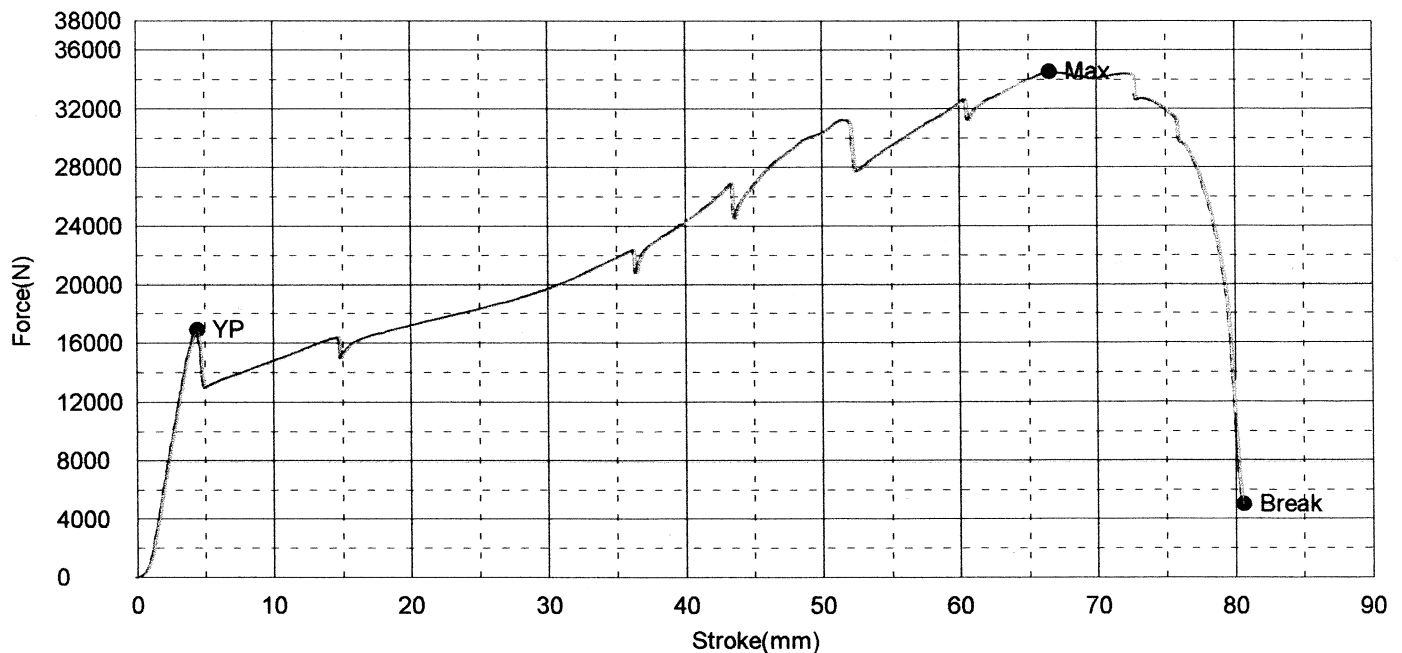
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	27,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	16959,4	4,41000	75,3750	2,72222	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	34562,5	66,5295	153,611

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	41,0676	5031,25	80,5770	22,3611	49,7389



Comment 2

HASIL UJI BENDING SANDWICH + CLAMSHELL 20% KE 2 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 : ID

Shape: Plate

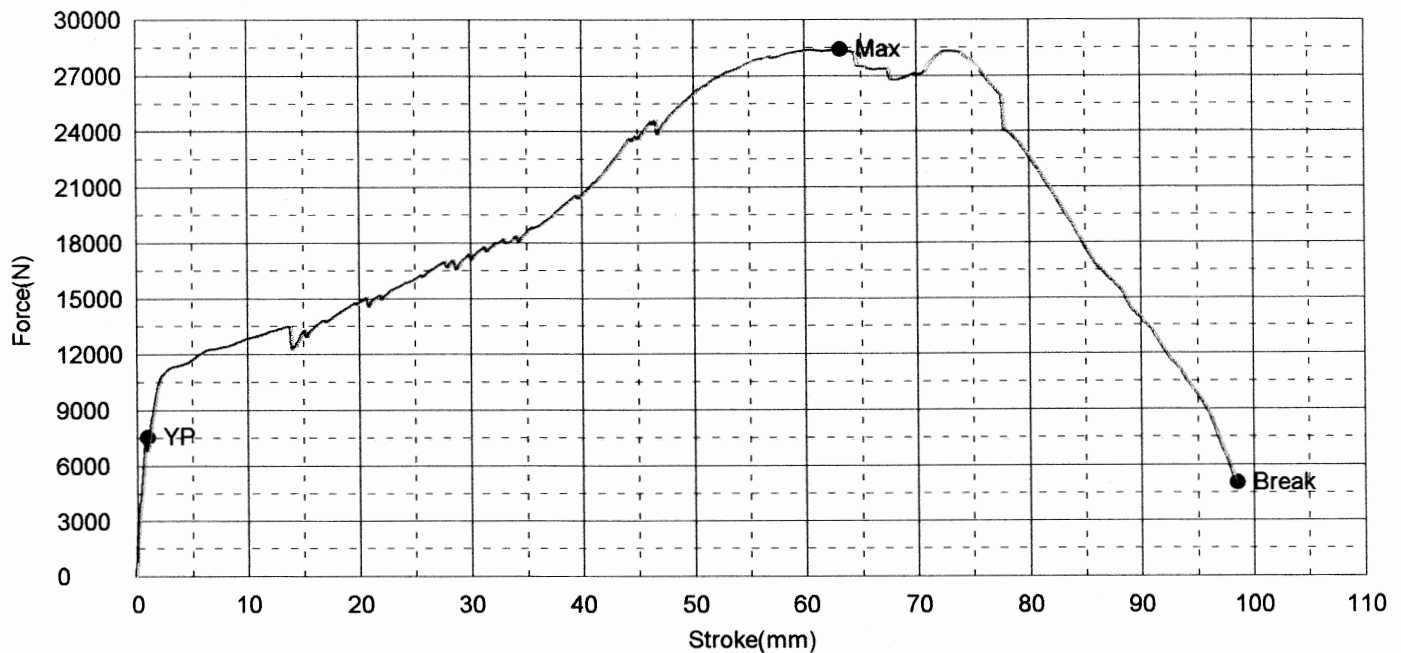
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	27,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	7540,63	,95500	33,5139	,58951	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	28418,8	63,1460	126,306

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	38,9790	5028,13	98,5675	22,3472	60,8441



Comment 3

HASIL UJI BENDING SANDWICH + CLAMSHELL 20% KE 2 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10

ID

Shape: Plate

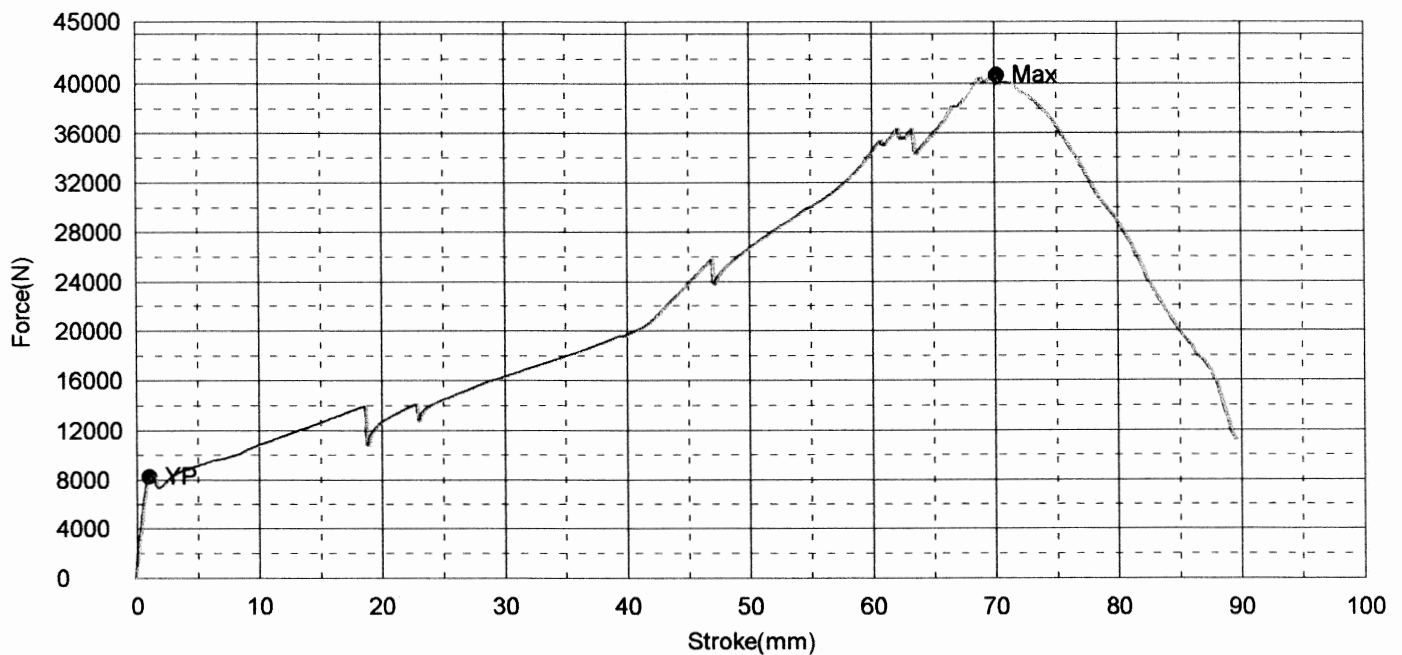
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	27,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	8275,00	1,03600	36,7778	,63951	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	40709,4	70,1520	180,931

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	43,3037	--	--	--	--



Comment 4

HASIL UJI BENDING SANDWICH + CLAMSHELL 20% KE 2 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10

:

ID

Shape: Plate

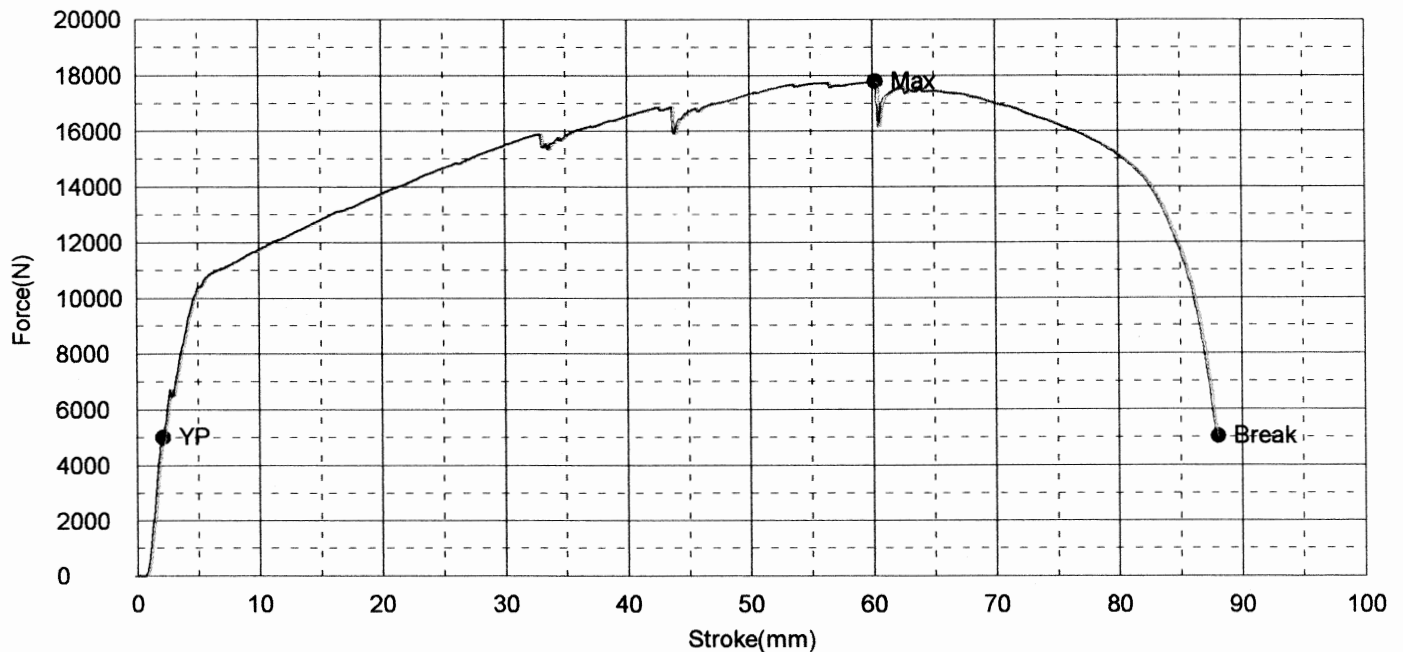
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	27,0000	75,0000	170,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	5021,88	2,15000	23,4216	1,20519	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	17796,9	60,2535	83,0033

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	33,7753	5034,38	88,0415	23,4799	49,3520



Comment 5

HASIL UJI BENDING SANDWICH + CLAMSHELL 30% KE 1 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 : ID

Shape: Plate

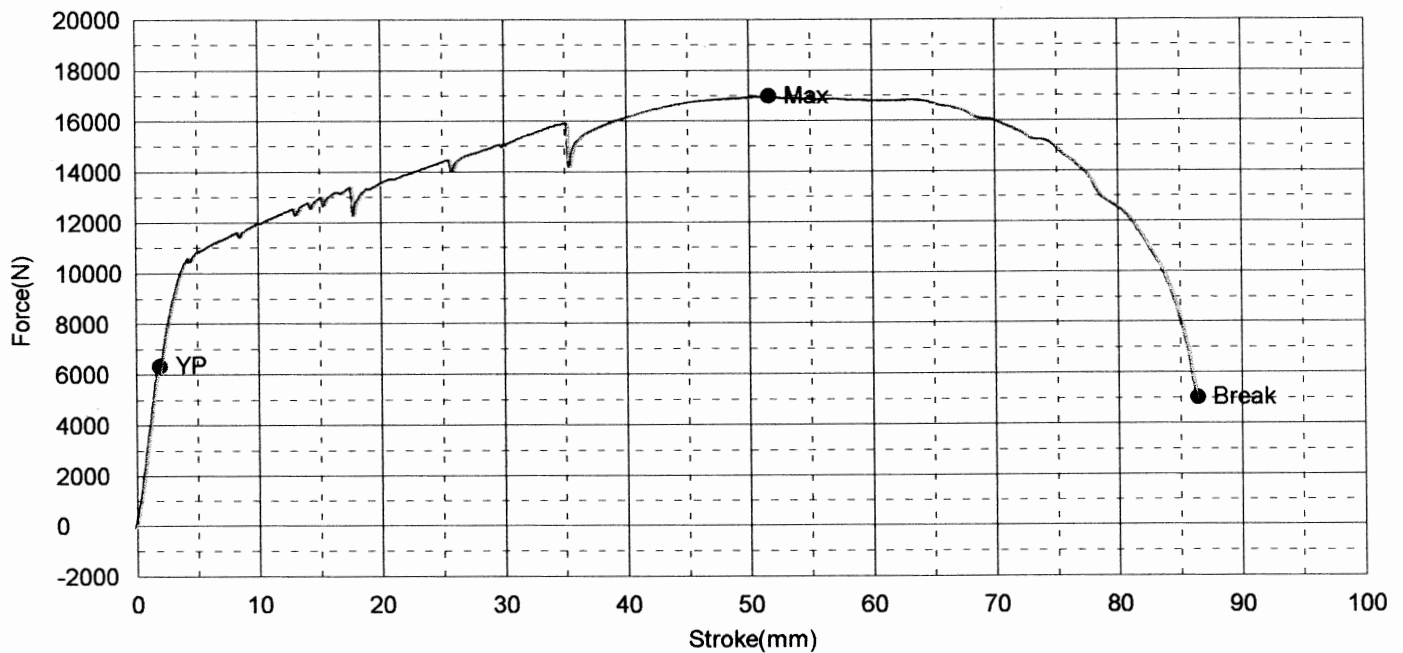
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	27,0000	75,0000	170,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	6350,00	1,94900	29,6159	1,09252	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	17003,1	51,5747	79,3013

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	28,9104	5028,13	86,3850	23,4508	48,4234



Comment

HASIL UJI BENDING SANDWICH + CLAMSHELL 30% KE 2 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10

ID

Shape: Plate

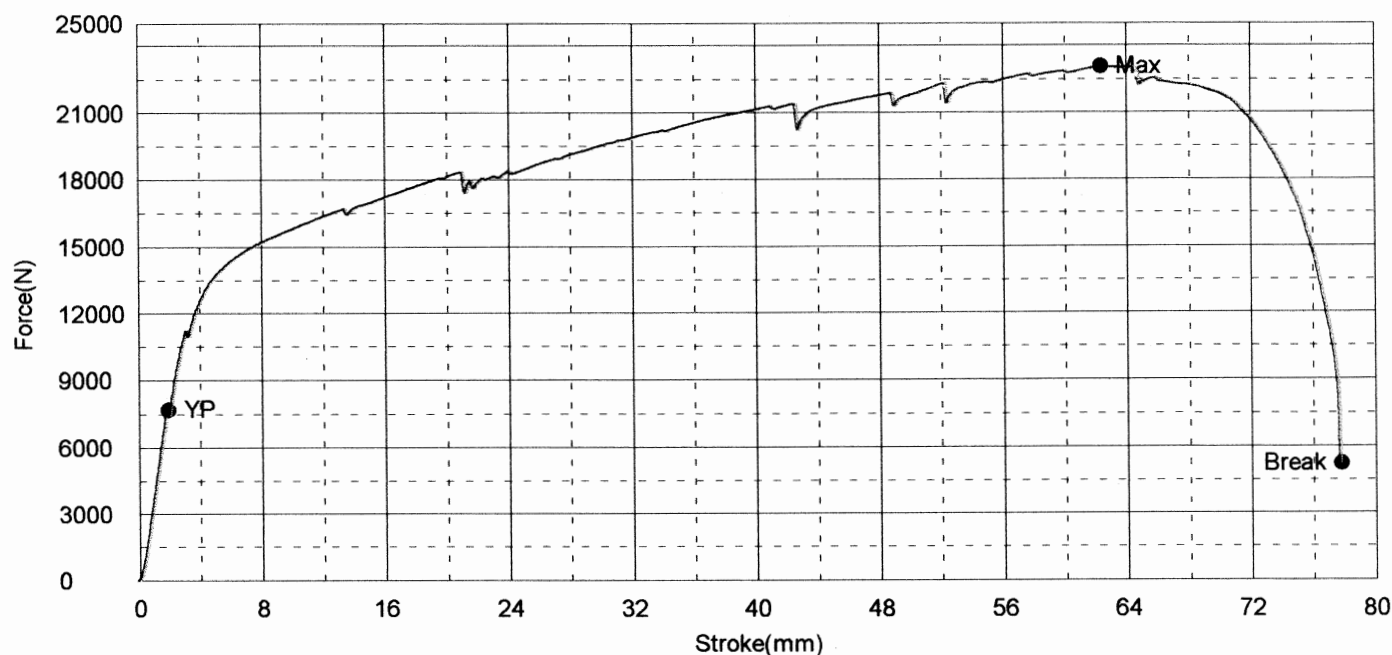
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	27,0000	75,0000	170,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	7690,63	1,92100	35,8685	1,07682	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	23065,6	62,3480	107,576

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	34,9494	5243,75	77,7855	24,4564	43,6029



Comment

HASIL UJI BENDING SANDWICH + CLAMSHELL 30% KE 3 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10

ID

Shape: Plate

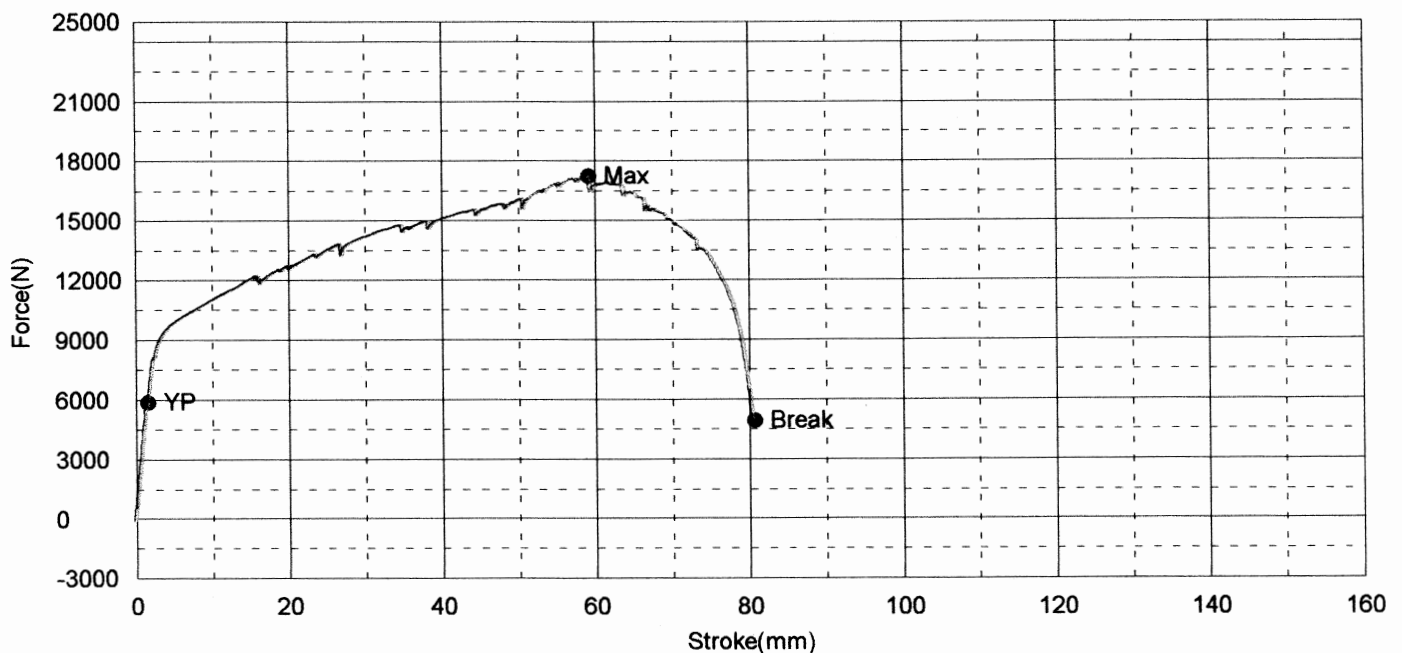
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	27,0000	75,0000	170,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	5871,88	1,56950	27,3860	,87979	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	17256,3	59,1465	80,4818

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	33,1548	4953,13	80,5890	23,1010	45,1745



Comment

HASIL UJI BENDING SANDWICH + CLAMSHELL 30% KE 4 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 : ID

Shape: Plate

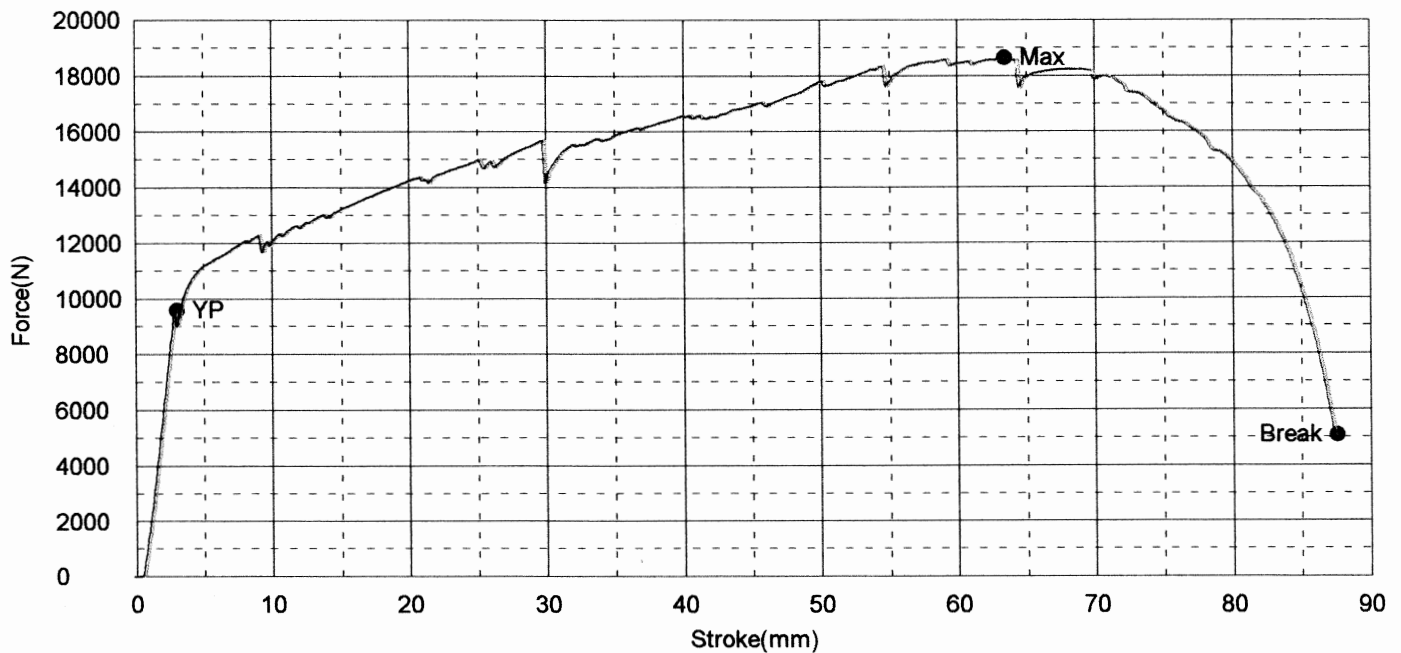
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	27,0000	75,0000	170,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	9596,88	3,03100	44,7591	1,69904	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	18643,8	63,4045	86,9530

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	35,5416	5081,25	87,5260	23,6986	49,0630



Comment

HASIL UJI BENDING SANDWICH + CLAMSHELL 30% KE 5 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10

ID

Shape: Plate

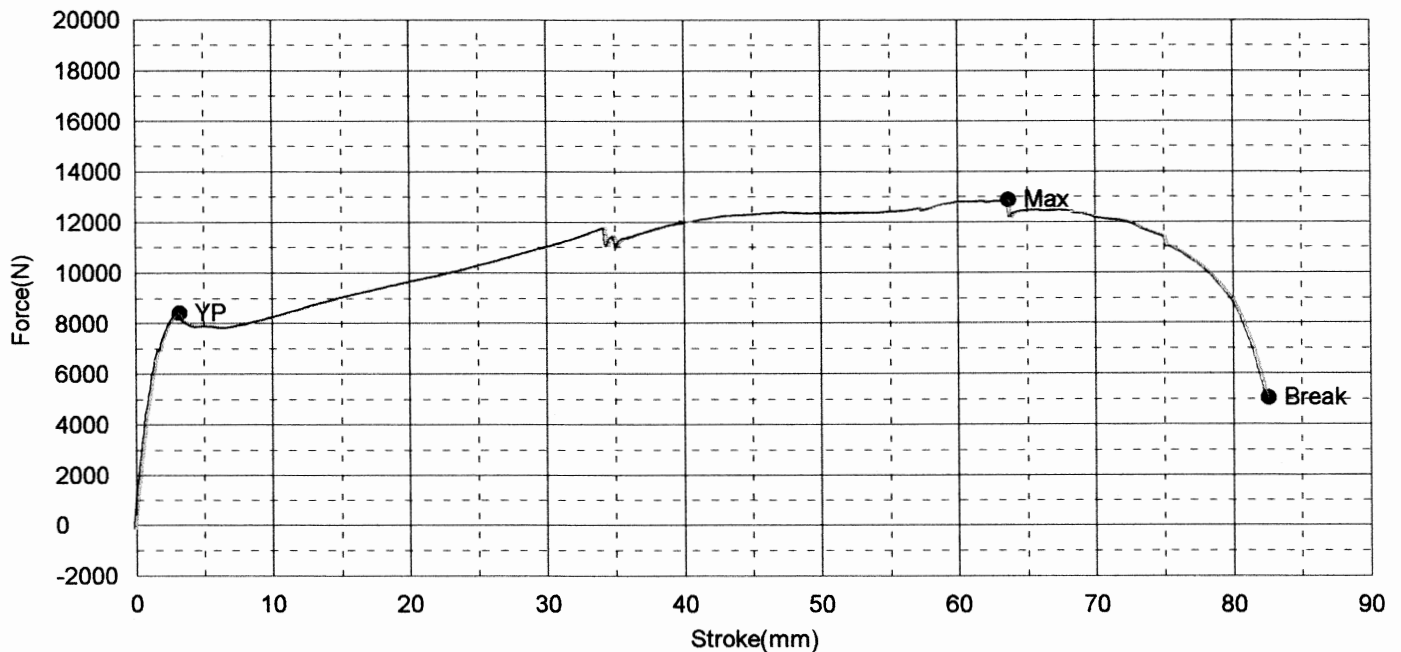
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	27,0000	75,0000	170,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	8406,25	3,19550	39,2061	1,79125	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	12884,4	63,6263	60,0917

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	35,6659	5053,13	82,5630	23,5674	46,2810



Comment



LAMPIRAN

HASIL PENGUJIAN PENGAYAKAN

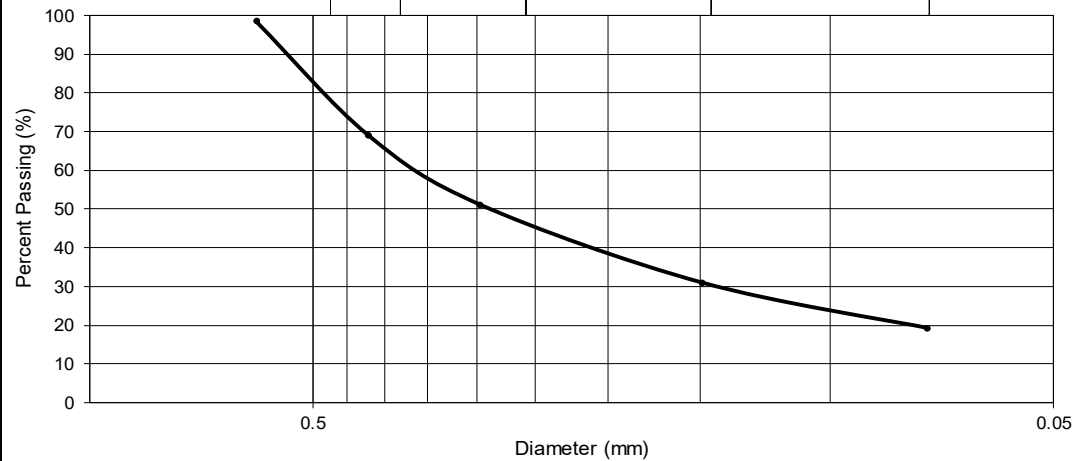
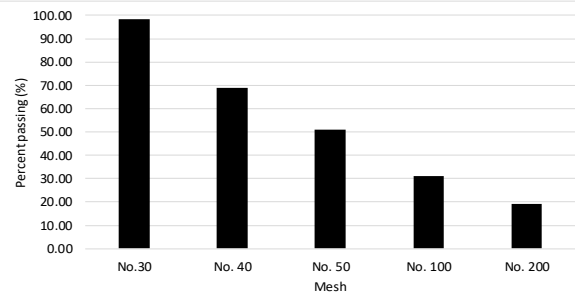
GRAIN SIZE DISTRIBUTION CURVE

Pemohon :
 Proyek :
 Location :

Tested By : AZ TEAM
 Date : 20-Sep-17

Jenis Material = SERBUK KERANG
 Asal Material =
 Weight of Material (g) = 1000
 Weight of Can (gr) = 0.00

φ (mm)	# Sieve	Weight of Retained		% Retained	% Passing	Spesifikasi	
		(gr)	(gr)			Atas	Bawah
0.60	No. 30	15.00	15.00	1.50	98.50		
0.42	No. 40	294.50	294.50	29.45	69.05		
0.30	No. 50	179.00	179.00	17.90	51.15		
0.149	No. 100	202.00	202.00	20.20	30.95		
0.074	No. 200	117.00	117.00	11.70	19.25		
	PAN	192.50	192.50	19.25	0.00		

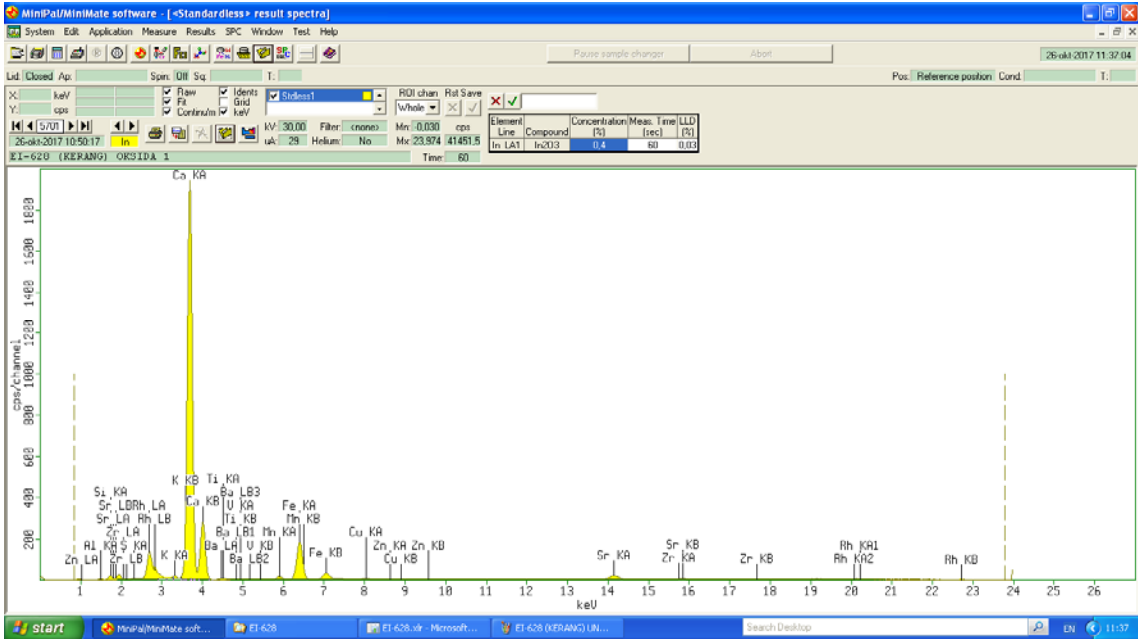




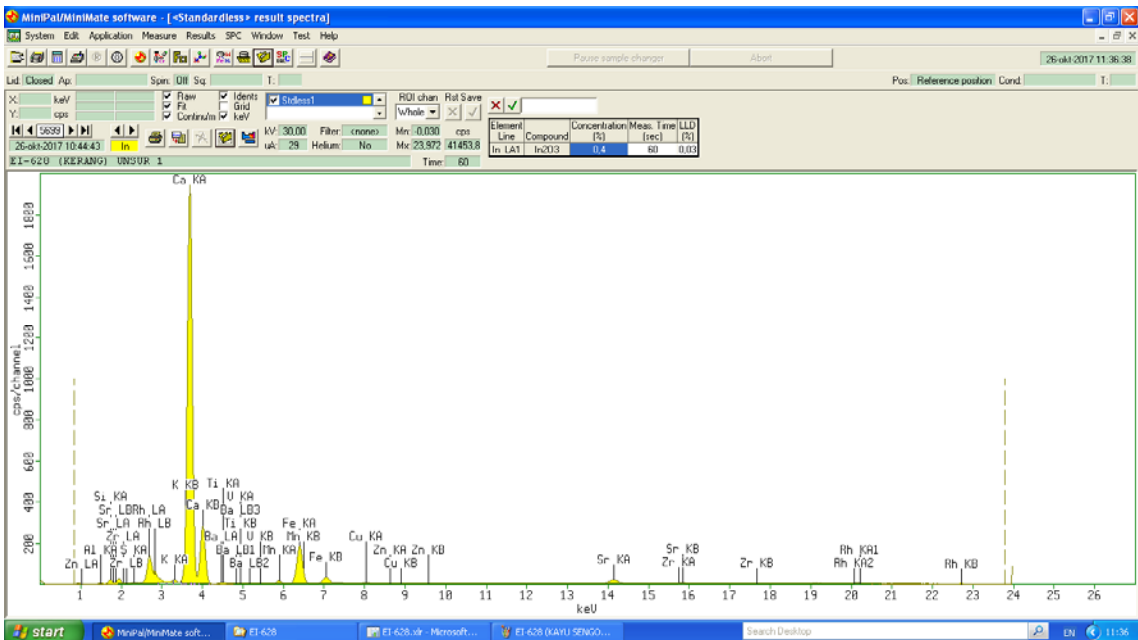
LAMPIRAN

HASIL PENGUJIAN XRF (*X-RAY FLOURENSCE*)

HASIL PENGUJIAN OKSIDA



HASIL PENGUJIAN UNSUR



Suhu : 23 C

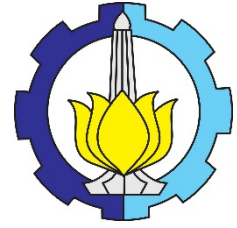
Kelembaban : 50%

Metode:

1. Tanpa Standar
2. Tanpa Filter
3. Medium Udara
4. Waktu 60
5. Energi 30 KV

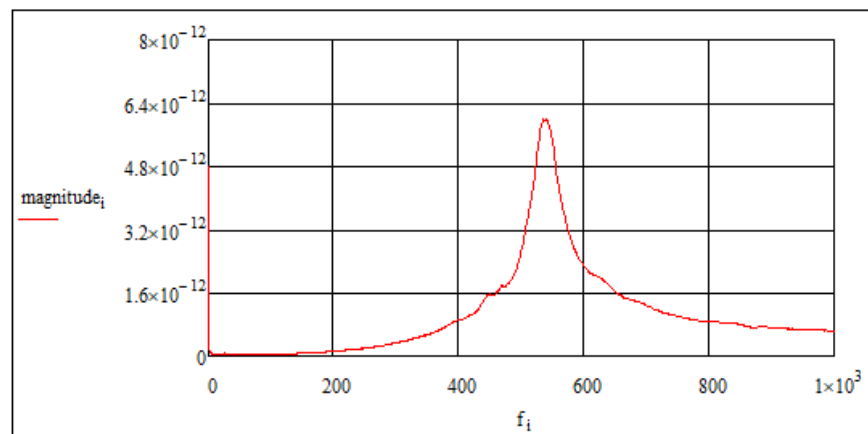
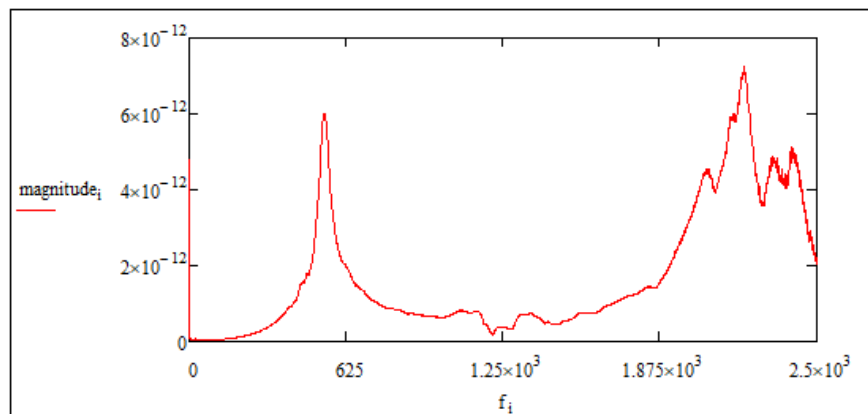
Kerang (Berat : 8.2263 gram)

Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	1.3	0%	Al	1.2	0%	Al ₂ O ₃	2.1	0%	Al ₂ O ₃	5	0%
Si	4	0%	Si	4.1	0%	SiO ₂	7	0%	SiO ₂	7	0%
S	0.07	0%	S	0.06	0%	SO ₃	0.1	0%	SO ₃	0.1	0%
K	0.49	0%	K	0.48	0%	K ₂ O	0.44	0%	K ₂ O	0.43	0%
Ca	87.13	0%	Ca	87.2	0%	CaO	84.27	0%	CaO	81.83	0%
Ti	0.45	0%	Ti	0.43	0%	TiO ₂	0.46	0%	TiO ₂	0.46	0%
V	0.02	0%	V	0.02	0%	V ₂ O ₅	0.01	0%	V ₂ O ₅	0.02	0%
Mn	0.43	0%	Mn	0.42	0%	MnO	0.34	0%	MnO	0.33	0%
Fe	5.24	0%	Fe	5.24	0%	Fe ₂ O ₃	4.65	0%	Fe ₂ O ₃	4.42	0%
Cu	0.09	0%	Cu	0.083	0%	CuO	0.064	0%	CuO	0.063	0%
Zn	0.033	0%	Zn	0.03	0%	ZnO	0.02	0%	Br	0.006	0%
Sr	0.517	0%	Sr	0.527	0%	SrO	0.378	0%	SrO	0.357	0%
Zr	0.01	0%	Zr	0.02	0%	ZrO ₂	0.01	0%	ZrO ₂	0.005	0%
Ba	0.2	0%	Ba	0.2	0%	BaO	0.1	0%	BaO	0.1	0%

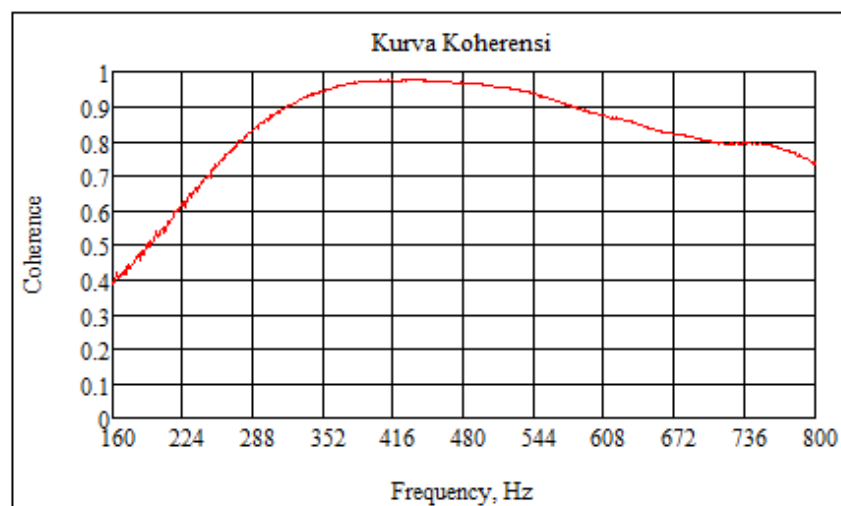


LAMPIRAN
PENGUJIAN GETARAN

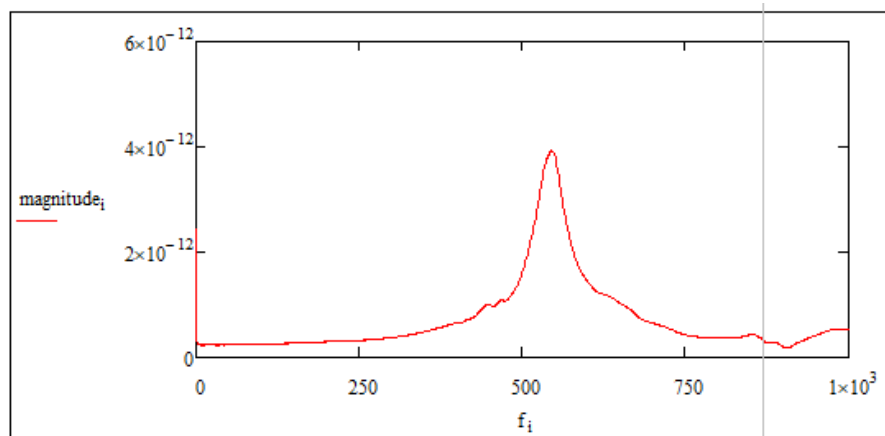
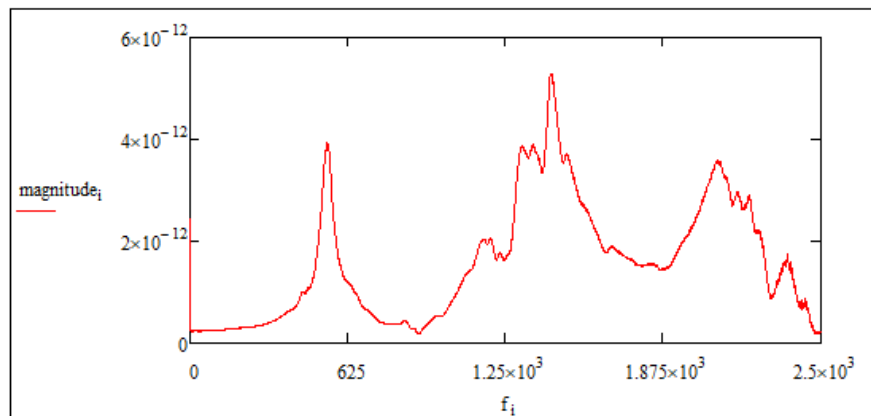
SANDWICH PANEL UTUH PERSENTASE SERBUK CANGKANG KERANG 20%
FREKUENSI NATURAL



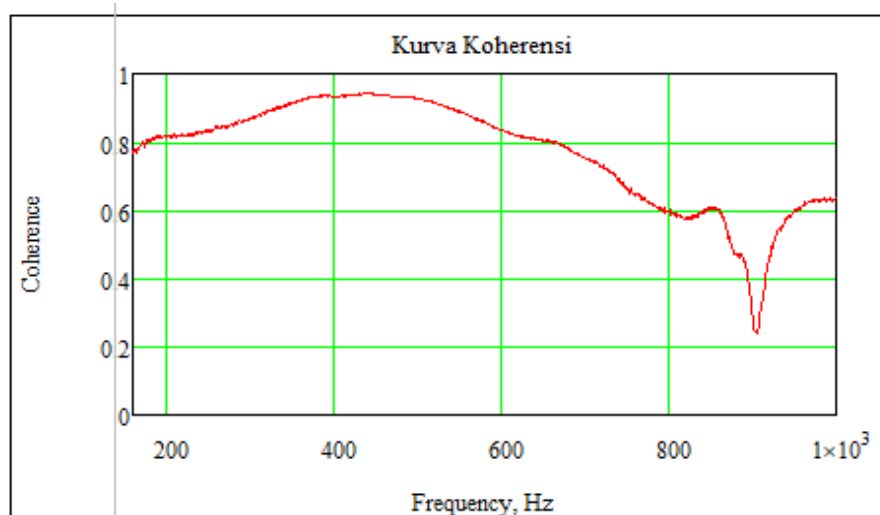
KOHERENSI



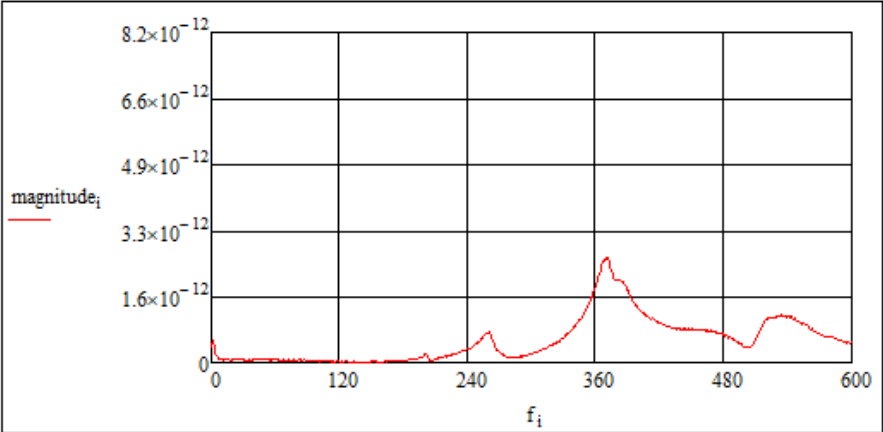
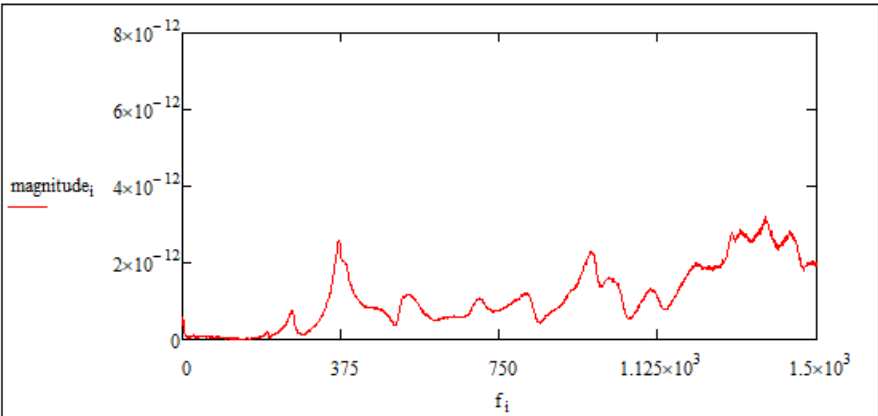
SANDWICH PANEL UTUH PERSENTASE SERBUK CANGKANG KERANG 30%
FREKUENSI NATURAL



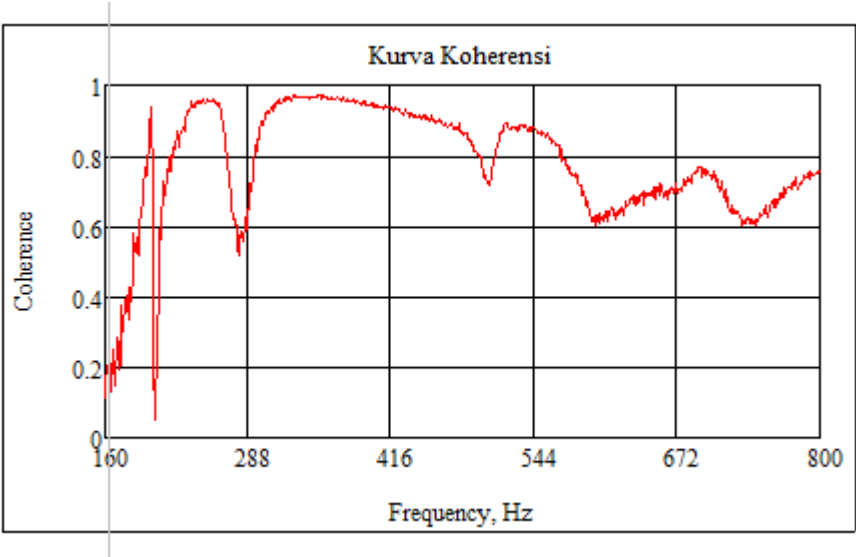
KOHERENSI



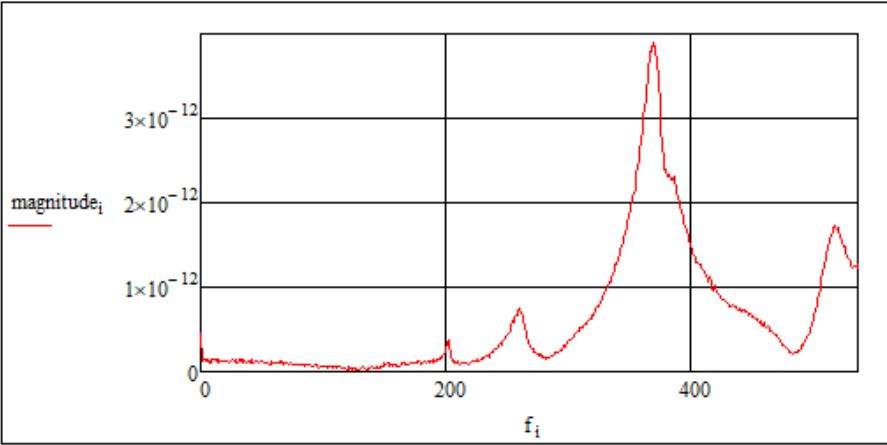
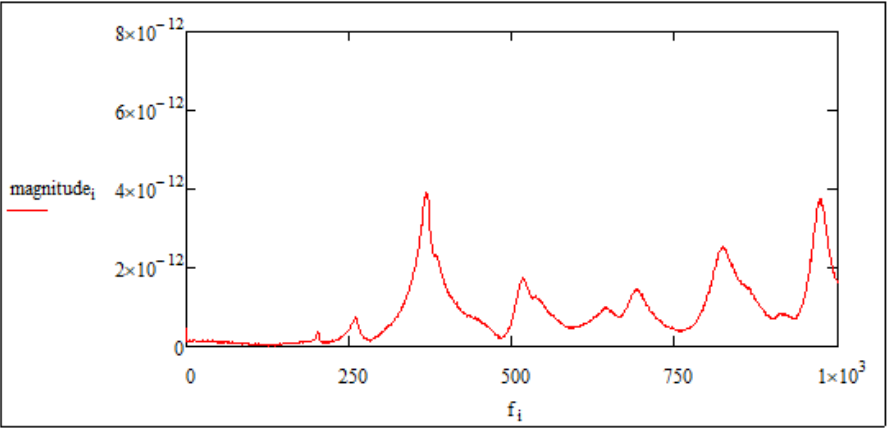
SANDWICH PANEL CACAT PERSENTASE SERBUK CANGKANG KERANG 20%
FREKUENSI NATURAL



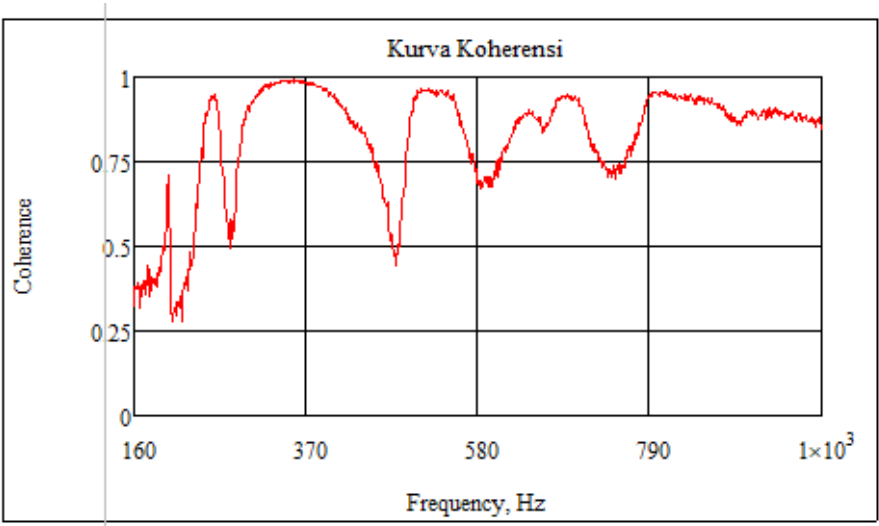
KOHERENSI

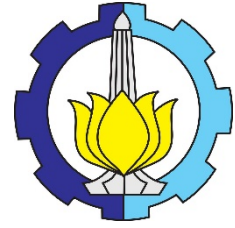


SANDWICH PANEL CACAT PERSENTASE SERBUK CANGKANG KERANG 30%
FREKUENSI NATURAL



KOHERENSI





LAMPIRAN

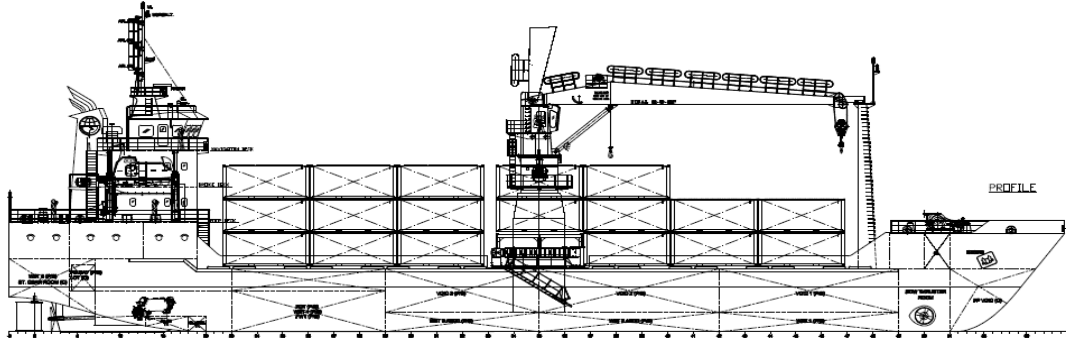
PERHITUNGAN *CORE* DAN *SANDWICH PANEL*



LAMPIRAN
GEOMETRI DATA KAPAL, UKURAN UTAMA KAPAL DAN DATA KONSTRUKSI

Nama Kapal	:	KENDHAGA NUSANTARA 6
Type Kapal	:	CONTAINER 100 TEUS
Sistem Konstruksi	:	MELINTANG
Kelas	:	BKI

I. GENERAL ARRANGEMENT.



II. UKURAN UTAMA KAPAL.

a. Panjang (L)

Panjang (L) adalah jarak pada garis air muat dari linggi haluan ke belakang kemudi atau garis sumbu tongkat kemudi jika tidak ada linggi kemudi. Dimana tidak boleh kurang dari 96% LWL dan tidak lebih besar dari 97% LWL.

Dimana :	Loa	=	74.05	m
	Lpp	=	69.2	m

b. Lebar (B)

Lebar kapal adalah jarak terbesar pada kapal yang diukur dari kulit bagian dalam.

Dimana :	B	=	17.02	m
----------	---	---	-------	---

c. Tinggi (H)

Tinggi kapal adalah jarak vertikal pada titik tengah panjang kapal (L), dari garis dasar ke bagian atas dari balok geladak dibagian sisi geladak menerus yang paling atas.

Dimana :	H	=	4.90	m
----------	---	---	------	---

d. Sarat (T)

Sarat (T) merupakan jarak vertikal pada titik tengah panjang kapal (L), dari dasar ke tanda lambung timbul untuk garis muat musim panas.

Dimana :	T	=	3.50	m
----------	---	---	------	---

e. Service Speed (Vs)

Service speed (Vs), adalah

Dimana :	Vs	=	12.00	knot
----------	----	---	-------	------

f. Complement

Jumlah complement atau crew adalah 25 orang



LAMPIRAN
PERHITUNGAN MODULUS PENAMPANG

Nama Kapal : **KENDHAGA NUSANTARA 6**
 Type Kapal : **CONTAINER 100 TEUS**
 Sistem Konstruksi : **MEMANJANG**
 Kelas : **BKI**

PERHITUNGAN MODULUS PENAMPANG

No	Nama bagian	Jml	Lebar	Tinggi	Sudut Thdp Bid. Horizontal	Luas Total	Titik berat thd Base	Momen Luas	Momen Inersia			M.Inersia Individu
		[n]	(cm) [b]	(cm) [h]	(derajat) [α]	(cm ²) [A _T]	(cm) [Z]	(cm ³) [A _T x z]	(cm ⁴) [A _T x z ²]	$I_x \cos^2 \alpha$ [$I_x = 1/12 \times b \times h^3$]	$I_y \sin^2 \alpha$ [$I_y = 1/12 \times h \times b^3$]	I_o [$I_x \cos 2 \alpha + I_y \sin 2 \alpha$]
1	Pelat Keel (lunas)	1	150	1.2	0	180	0.60	108.00	64.80	21.60	0.00	21.60
2	Pelat Alas											
	Pelat alas PS 1	1	150	1.0	2	150	3.35	502.05	1680.36	0.07	279604.14	279604.21
	Pelat alas PS 2	1	150	1.0	2	150	9.09	1363.20	12388.76	0.07	279604.14	279604.21
	Pelat alas PS 3	1	150	1.0	2	150	14.83	2223.75	32967.09	0.07	279604.14	279604.21
	Pelat alas PS 4	1	150	1.0	2	150	20.56	3084.30	63419.38	0.07	279604.14	279604.21
	Pelat alas PS 5	1	75	1.0	2	75	24.87	1864.88	46370.12	0.04	34950.52	34950.55
	Pelat alas SB 1	1	150	1.0	178	150	3.35	502.05	1680.36	3.21	208931.41	208934.62
	Pelat alas SB 2	1	150	1.0	178	150	9.09	1363.20	12388.76	3.21	208931.41	208934.62
	Pelat alas SB 3	1	150	1.0	178	150	14.83	2223.75	32967.09	3.21	208931.41	208934.62
	Pelat alas SB 4	1	150	1.0	178	150	20.56	3084.30	63419.38	3.21	208931.41	208934.62
	Pelat alas SB 5	1	75	1.0	178	75	24.87	1864.88	46370.12	1.61	26116.43	26118.03
3	Pelat Alas Dalam											
	Pelat alas dalam	2	860	0.9	0	1548	150.45	232896.60	35039293.47	52.25	0.00	52.25
4	Pelat Bilga	2	173.2	1.0	0	346.4	40.34	13972.12	563568.1	14.43	0.00	14.43
5	Pelat Sisi											
	Pelat sisi 1	2	1.0	75	0	150	172.00	25800.00	4437600.00	35156.25	0.00	35156.25
	Pelat sisi 2	2	1.0	150	0	300	284.50	85350.00	24282075.00	281250.00	0.00	281250.00
	Pelat sisi 3	2	1.0	150	0	300	434.50	130350.00	56637075.00	281250.00	0.00	281250.00
6	Pelat Sekat											
	Pelat sekat 1	1	0.9	150	0	135	225.00	30375.00	6834375.00	253125.00	0.00	253125.00
	Pelat sekat 2	1	0.9	150	0	135	375.00	50625.00	18984375.00	253125.00	0.00	253125.00

7	Pelat Geladak											
	Pelat geladak PS 1	1	75	1.0	1	75	490.43	36782.03	18038898.17	3.36	16233.43	16236.80
	Pelat geladak PS 2	1	150	1.0	1	150	491.48	73722.15	36233036.00	6.73	129867.47	129874.19
	Pelat geladak PS 3	1	150	1.0	1	150	492.96	73944.15	36451582.13	6.73	129867.47	129874.19
	Pelat geladak PS 4	1	150	1.0	1	150	494.67	74200.50	36704761.34	6.73	129867.47	129874.19
	Pelat geladak PS 5	1	150	1.0	1	150	496.38	74456.70	36958667.83	6.73	129867.47	129874.19
	Pelat geladak PS 6	1	150	1.0	1	150	498.09	74713.05	37213598.94	6.73	129867.47	129874.19
	Pelat geladak tengah	1	150	1.0	0	150	499.80	74969.25	37469256.30	12.50	0.00	12.50
	Pelat geladak SB 1	1	75	1.0	-1	75	490.43	36782.03	18038898.17	3.36	16233.43	16236.80
	Pelat geladak SB 2	1	150	1.0	-1	150	491.48	73722.15	36233036.00	6.73	129867.47	129874.19
	Pelat geladak SB 3	1	150	1.0	-1	150	492.96	73944.15	36451582.13	6.73	129867.47	129874.19
	Pelat geladak SB 4	1	150	1.0	-1	150	494.67	74200.50	36704761.34	6.73	129867.47	129874.19
	Pelat geladak SB 5	1	150	1.0	-1	150	496.38	74456.70	36958667.83	6.73	129867.47	129874.19
	Pelat geladak SB 6	1	150	1.0	-1	150	498.09	74713.05	37213598.94	6.73	129867.47	129874.19
8	Penumpu (Girder)											
	Penumpu samping 1	2	0.9	140	0	252	80.90	20386.80	1649292.12	205800.00	0.00	205800.00
	Penumpu samping 2	2	0.9	130	0	234	87.50	20475.00	1791562.50	164775.00	0.00	164775.00
	Penumpu tengah	1	1.2	150	0	180	75.00	13500.00	1012500.00	337500.00	0.00	337500.00
9	Pembujur											
	Pembujur alas dalam											
	- Web	24	1	10	0	240	145.00	34800.00	5046000.00	83.33	0.00	83.33
	- Face	24	10	1	0	240	140.50	33720.00	4737660.00	0.83	0.00	0.83
	Pembujur alas 1											
	- Web	1	1	10	0	10	5.00	50.00	250.00	83.33	0.00	83.33
	- Face	2	10	1	0	20	10.50	210.00	2205.00	0.83	0.00	0.83
	Pembujur alas 2											
	- Web	2	1	10	0	20	6.73	134.66	906.67	83.33	0.00	83.33
	- Face	2	10	1	0	20	12.23	244.66	2992.93	0.83	0.00	0.83
	Pembujur alas 3											
	- Web	2	1	10	0	20	9.04	180.88	1635.88	83.33	0.00	83.33
	- Face	2	10	1	0	20	14.54	290.88	4230.56	0.83	0.00	0.83
	Pembujur alas 4											
	- Web	2	1	10	0	20	11.35	226.92	2574.63	83.33	0.00	83.33
	- Face	2	10	1	0	20	16.85	336.92	5675.75	0.83	0.00	0.83
	Pembujur alas 5											
	- Web	2	1	10	0	20	13.65	273.08	3728.63	83.33	0.00	83.33
	- Face	2	10	1	0	20	19.15	383.08	7337.51	0.83	0.00	0.83

	Pembujur alas 6											
	- Web	2	1	10	0	20	18.27	365.38	6675.13	83.33	0.00	83.33
	- Face	2	10	1	0	20	23.77	475.38	11299.31	0.83	0.00	0.83
	Pembujur alas 7											
	- Web	2	1	10	0	20	20.60	412.00	8487.20	83.33	0.00	83.33
	- Face	2	10	1	0	20	26.10	522.00	13624.20	0.83	0.00	0.83
	Pembujur alas 8											
	- Web	2	1	10	0	20	22.91	458.22	10498.28	83.33	0.00	83.33
	- Face	2	10	1	0	20	28.41	568.22	16143.70	0.83	0.00	0.83
	Pembujur alas 9											
	- Web	2	1	10	0	20	25.19	503.84	12692.74	83.33	0.00	83.33
	- Face	2	10	1	0	20	30.69	613.84	18839.98	0.83	0.00	0.83
	Pembujur alas 10											
	- Web	2	1	10	0	20	29.84	596.88	17813.29	83.33	0.00	83.33
	- Face	2	10	1	0	20	35.34	706.88	24983.97	0.83	0.00	0.83
	Pembujur alas 11											
	- Web	2	1	10	0	20	39.83	796.64	31731.76	83.33	0.00	83.33
	- Face	2	10	1	0	20	45.33	906.64	41099.80	0.83	0.00	0.83
10	Pembujur Sisi-Sekat											
	Pembujur 1											
	- Web	3	10	1	0	30	185.00	5550.00	1026750.00	0.83	0.00	0.83
	- Face	3	1	10	0	30	179.50	5385.00	966607.50	83.33	0.00	83.33
	Pembujur 2											
	- Web	3	10	1	0	30	245.00	7350.00	1800750.00	0.83	0.00	0.83
	- Face	3	1	10	0	30	239.50	7185.00	1720807.50	83.33	0.00	83.33
	Pembujur 3											
	- Web	3	10	1	0	30	305.00	9150.00	2790750.00	0.83	0.00	0.83
	- Face	3	1	10	0	30	299.50	8985.00	2691007.50	83.33	0.00	83.33
	Pembujur 4											
	- Web	3	10	1	0	30	365.00	10950.00	3996750.00	0.83	0.00	0.83
	- Face	3	1	10	0	30	359.50	10785.00	3877207.50	83.33	0.00	83.33
	Pembujur 5											
	- Web	3	10	1	0	30	425.00	12750.00	5418750.00	0.83	0.00	0.83
	- Face	3	1	10	0	30	419.50	12585.00	5279407.50	83.33	0.00	83.33

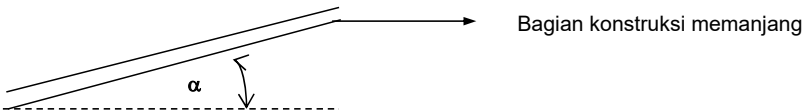
11	Pembujur Geladak											
	Pembujur 1											
	- Web	2	1.1	12	0	26.4	484.05	12778.80	6185523.77	158.40	0.00	158.40
	- Face	2	12	1.1	0	26.4	477.50	12605.88	6019254.07	1.33	0.00	1.33
	Pembujur 2											
	- Web	2	1.1	12	0	26.4	484.91	12801.65	6207661.10	158.40	0.00	158.40
	- Face	2	12	1.1	0	26.4	478.36	12628.73	6041092.10	1.33	0.00	1.33
	Pembujur 3											
	- Web	2	1.1	12	0	26.4	485.60	12819.71	6225186.11	158.40	0.00	158.40
	- Face	2	12	1.1	0	26.4	479.05	12646.79	6058380.56	1.33	0.00	1.33
	Deck Girder 4											
	- Web	2	0.9	35	0	63	474.78	29911.01	14201091.40	3215.63	0.00	3215.63
	- Face	2	15	0.9	0	27	456.83	12334.36	5634679.18	0.91	0.00	0.91
	Pembujur 5											
	- Web	2	1.1	12	0	26.4	486.96	12855.77	6260258.81	158.40	0.00	158.40
	- Face	2	12	1.1	0	26.4	480.41	12682.85	6092980.84	1.33	0.00	1.33
	Pembujur 6											
	- Web	2	1.1	12	0	26.4	487.65	12873.83	6277857.86	158.40	0.00	158.40
	- Face	2	12	1.1	0	26.4	481.10	12700.91	6110343.33	1.33	0.00	1.33
	Pembujur 7											
	- Web	2	1.1	12	0	26.4	488.33	12891.86	6295455.82	158.40	0.00	158.40
	- Face	2	12	1.1	0	26.4	481.78	12718.94	6127705.09	1.33	0.00	1.33
	Pembujur 8											
	- Web	2	1.1	12	0	26.4	489.01	12909.89	6313078.41	158.40	0.00	158.40
	- Face	2	12	1.1	0	26.4	482.46	12736.97	6145091.48	1.33	0.00	1.33
	Deck Girder 9											
	- Web	2	0.9	35	0	63	478.20	30126.29	14406238.86	3215.63	0.00	3215.63
	- Face	2	15	0.9	0	27	460.25	12426.62	5719287.42	0.91	0.00	0.91
	Pembujur 10											
	- Web	2	1.1	12	0	26.4	490.38	12945.98	6348423.39	158.40	0.00	158.40
	- Face	2	12	1.1	0	26.4	483.83	12773.06	6179963.69	1.33	0.00	1.33
	Pembujur 11											
	- Web	2	1.1	12	0	26.4	491.06	12964.04	6366145.84	158.40	0.00	158.40
	- Face	2	12	1.1	0	26.4	484.51	12791.12	6197449.58	1.33	0.00	1.33
	Pembujur 12											
	- Web	2	1.1	12	0	26.4	491.75	12982.07	6383867.03	158.40	0.00	158.40
	- Face	2	12	1.1	0	26.4	485.20	12809.15	6214934.56	1.33	0.00	1.33
	Pembujur 13											
	- Web	2	1.1	12	0	26.4	492.43	13000.10	6401612.85	158.40	0.00	158.40
	- Face	2	12	1.1	0	26.4	485.88	12827.18	6232444.18	1.33	0.00	1.33

	Pembujur 14											
	- Web	2	1.1	12	0	26.4	493.11	13018.16	6419409.34	158.40	0.00	158.40
	- Face	2	12	1.1	0	26.4	486.56	12845.24	6250004.11	1.33	0.00	1.33
						8934		2093380.20	821129072.7			5168302.174
						Σ1		Σ2	Σ3			Σ4

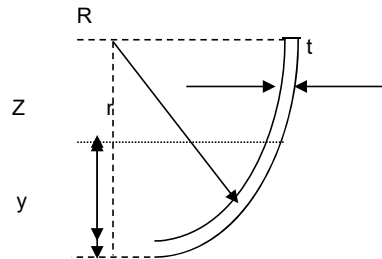
Keterangan

Dimana : $I_x = 1/12 * b * h^3$

: α = Sudut terha



Untuk Pelat Bilga : Pada perhitungan Momen Inersia dibantu dengan menggunakan tools Autocad.



$$\begin{aligned} \text{sehingga } R &= r + t = 110. + 1 = 111.0 \text{ cm} \\ \text{diketahui } r &= 1.10 \text{ m} \\ t &= 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

maka :

$$\text{Luas (A)} = (2 \cdot \pi R \cdot t) / 4 = 174.358392 \text{ cm}^2$$

$$\text{Titik Berat } Z = 2 \cdot R / \pi = 70.6647947 \text{ cm}$$

$$y = R - 2 \cdot R / \pi = 40.3 \text{ cm}$$

$$A \times Z = 12321$$

$$A \times Z^2 = 870660.936$$

$$\text{Momen Inersia lingkaran} = 0.055 \cdot t \cdot d^3 = 75219.71 \text{ cm}^3 ; \text{ dimana } R = d$$



LAMPIRAN
KALKULASI KETEBALAN PANEL SANDWICH

Nama Kapal : **KENDHAGA NUSANTARA 6**
 Type Kapal : **CONTAINER 100 TEUS**
 Sistem Konstruksi : **MELINTANG**
 Kelas : **BKI**

I. KETEBALAN MINIMUM LAPISAN FACE PLATE

Ketebalan minimum dari rancangan panel sandwich, dihitung berdasarkan persamaan berikut ini, berdasarkan aturan yang ditetapkan oleh LR (2015).

Tabel A : Minimum thicknesses

Item	Minum thickness in mm	
	New construction	Overlay construction
t_{1MIN}	3,0	3,0
t_{2MIN}	3,0	50 % of the as-built thickness

The thickness of the core is not to be less than:

$$t_c = 15 \text{ mm}$$

Tabel B : Thickness allowance

Struture	t_{aR}	t_{a1}	t_{a2}
Bottom shell	1	0	1
Side shell	1	0	1
Inner bottom, hopper plating	2	1	1
Inner bottom, at crown of tank	3.5	1	2.5
Strength deck	3.5	2	0
Internal deck	0	0.0	0
Superstructure Deck	0	0.0	0
Watertight bulkheads	0	0.0	0
Deep tank bulkheads	2.5	0.0	2.5
Deep tank crown which is also a deck	3.5	1.0	2.50
Vehicle deck clear of tanks	2	2	0

Strength Index: R

$$R = 0,01 A_R \left[0,1 \frac{b^2}{d(t_1 + t_2)} + 11,7 \left(\frac{bt_c}{d^2} \right)^{1,3} \right] k P_{eq,R}$$

Dimana : $A_R = \left(\frac{a}{b} \right)^{0,56}$

$$P_{eq,R} = 0,0017 \frac{Z_{rule}}{l^2} \text{ in N/mm}^2$$

l = length of panel, in meters

Z_{rule} = equivalent section modules, in cm^3 , see Ch 3, 4.4 Thickness of sandwich panel

t_c = selected core thickness, in mm

a, b, d = see Ch 1, 7.2 Symbols

t_1, t_2 = thicknesses of the top bottom plating, in mm, see Figure 3.4.2 Determination of top and bottom plate thickness and core thickness

k = see Pt 3, Ch 2, 1.2 Steel of the Rules for Ship

t rules = **10** mm existing

t_c = 15 mm

t_{aR} = 1 mm

t_{a1} = 0 mm

t_{a2} = 1 mm

a = 2400 mm (length of the panel at longest edge, in mm)

b = 1500 mm (breadth of the panel at shortest edge, in mm)

t_1 = 2.7 mm (Thickness of the top plate, in mm)

3 mm

$$\begin{aligned}
 t_2 &= 3.7 \text{ mm} \quad (\text{thickness of the bottom plate, in mm}) \\
 A_R &= \frac{4 \text{ mm}}{1.36} \\
 P_{eq,R} &= 0.01 \text{ N/mm}^2 \\
 Z_{Rules} &= 4E+05 \\
 l &= 240 \text{ mm} \\
 d &= 18.5 \text{ mm} \\
 k &= 1 \\
 R &= 0.313 \quad \text{oke}
 \end{aligned}$$

Calculate the top and bottom thickness
 $t_1 = 0,3 (t_{rule} - t_{aR}) + t_{a1}$
 $t_2 = 0,3 (t_{rule} - t_{aR}) + t_{a2}$

$$R = 0,01 A_R \left[0,1 \frac{b^2}{d (t_1 + t_2)} + 11,7 \left(\frac{b t_c}{d^2} \right)^{1,3} \right] k P_{eq,R}$$

a = length of the panel at longest edge, in mm
 b = breadth of the panel at shortest edge, in mm
 d = $0,5(t_1 + t_2) + t_c$, in mm
 t_1 = thickness of the top plate, in mm
 t_2 = thickness of the bottom plate, in mm
 t_{a1} = thickness allowance for the top plate, in mm
 t_{a2} = thickness allowance for the bottom plate, in mm
 t_c = thickness of the core, in mm

t rules	t_{aR}	t_{a1}	t_{a2}	Face plate	
				t1	t2
10	1	0	1	2.7	3.7

Pembulatan

Nama bagian	t_c (mm)	a (mm)	b (mm)	A_R	Z_{rule}	l	P_{eqR} (Mpa)	Face Plate			d (mm)	R	$R \leq l$
								t_1	t_2	k			
Side Shell	15	2400	1500	1.36	417288	240	0.01	3	4	1	18.5	0.31	oke
	15	2400	1500	1.36	417288	240	0.01	4	4	1	19	0.27	oke
	20	2400	1500	1.36	417288	240	0.01	4	4	1	24	0.21	oke
	25	2400	1500	1.36	417288	240	0.01	4	4	1	29	0.17	oke
	30	2400	1500	1.36	417288	240	0.01	4	4	1	34	0.15	oke



LAMPIRAN
KALKULASI UJI DENSITAS CORE SANDWICH

Standard Pengujian	: ISO 845
Hari/tanggal Pengujian	:-
Lokasi Pengujian	:-
Penguji	:-

I. Uji Densitas

Uji densitas/massa jenis dilakukan pada tiap komposisi :

Komposisi 0%

Komposisi 0% adalah murni resin 157, sehingga massa jenisnya adalah 1150 kg/m³

Komposisi 10%

Nama	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m3)	Massa (kg)	Massa Jenis (kg/m3)
Spesimen 1	0.201	0.02	0.068	0.00027336	0.341	1247.439274
Spesimen 2	0.2	0.021	0.067	0.0002814	0.34	1208.244492
Spesimen 3	0.201	0.02	0.069	0.00027738	0.342	1232.965607
Spesimen 4	0.2	0.02	0.07	0.00028	0.35	1250
Spesimen 5	0.2	0.022	0.068	0.0002992	0.348	1163.101604
					Rata-rata	1220.350195

Komposisi 20%

Nama	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m3)	Massa (kg)	Massa Jenis (kg/m3)
Spesimen 1	0.2	0.02	0.069	0.000276	0.362	1311.594203
Spesimen 2	0.2	0.015	0.07	0.00021	0.285	1357.142857
Spesimen 3	0.197	0.019	0.069	0.000258267	0.342	1324.210991
Spesimen 4	0.2	0.018	0.068	0.0002448	0.324	1323.529412
Spesimen 5	0.199	0.02	0.068	0.00027064	0.36	1330.180313
					Rata-rata	1329.331555

Komposisi 30%

Nama	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m3)	Massa (kg)	Massa Jenis (kg/m3)
Spesimen 1	0.2	0.015	0.075	0.000225	0.335	1488.888889
Spesimen 2	0.202	0.015	0.07	0.0002121	0.305	1438.000943
Spesimen 3	0.2	0.016	0.075	0.00024	0.346	1441.666667
Spesimen 4	0.202	0.015	0.075	0.00022725	0.338	1487.348735
Spesimen 5	0.2	0.015	0.075	0.000225	0.33	1466.666667
					Rata-rata	1464.51438

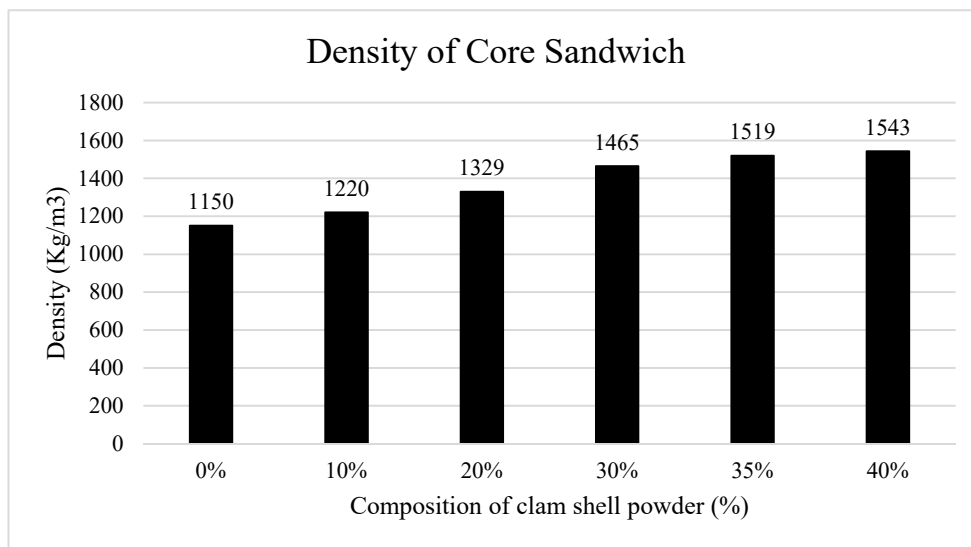
Komposisi 35%

Nama	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m3)	Massa (kg)	Massa Jenis (kg/m3)
Spesimen 1	0.202	0.015	0.075	0.00022725	0.345	1518.151815
Spesimen 2	0.203	0.016	0.07	0.00022736	0.345	1517.417312
Spesimen 3	0.21	0.015	0.075	0.00023625	0.358	1515.343915
Spesimen 4	0.203	0.016	0.071	0.000230608	0.35	1517.727052
Spesimen 5	0.2	0.015	0.07	0.00021	0.321	1528.571429
					Rata-rata	1519.442305

Komposisi 40%

Nama	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m3)	Massa (kg)	Massa Jenis (kg/m3)
Spesimen 1	0.202	0.016	0.069	0.000223008	0.343	1538.061415
Spesimen 2	0.203	0.015	0.075	0.000228375	0.353	1545.703339
Spesimen 3	0.201	0.015	0.07	0.00021105	0.33	1563.610519
Spesimen 4	0.201	0.016	0.075	0.0002412	0.368	1525.704809
Spesimen 5	0.203	0.015	0.075	0.000228375	0.352	1541.324576
					Rata-rata	1542.880932

Persentase	Massa Jenis (kg/m3)
0	1150
10	1220
20	1329
30	1465
35	1519
40	1543





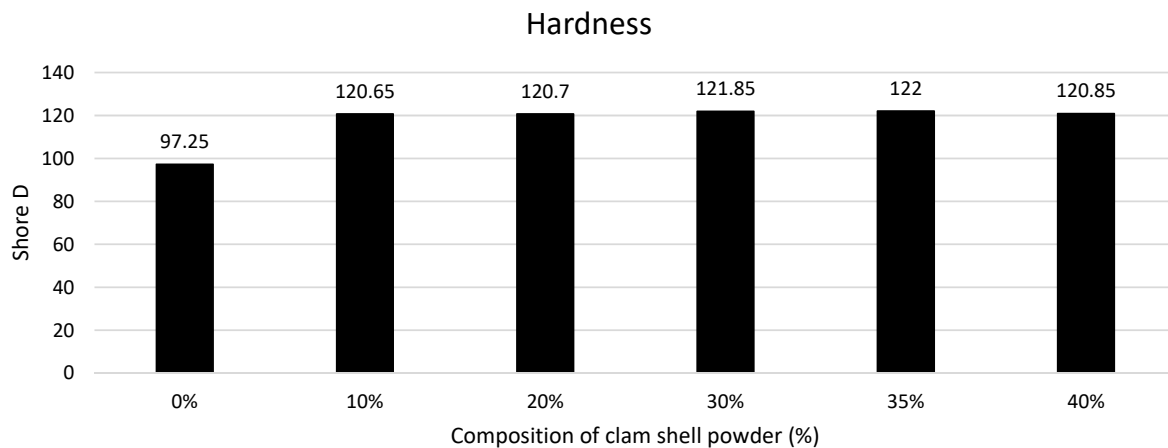
LAMPIRAN
KALKULASI UJI KEKERASAN CORE SANDWICH

Standard Pengujian : DIN 53505
 Hari/tanggal Pengujian :
 Lokasi Pengujian :
 Penguji :

I. Uji Kekerasan/Hardess Test

Pengujian kekerasan/hardness testing menggunakan standard DIN 53505 Shore D

Nama	Presentase (D)					
	0%	10%	20%	30%	35%	40%
Spesimen 1	98	119	121	122.5	122	121
Spesimen 2	97	120	120	122	121	120
Spesimen 3	95	120.5	120	121.5	122.5	119
Spesimen 4	96.5	120.5	121	121.5	122	122
Spesimen 5	98.5	121.5	121	122	122	122
Spesimen 6	98	121	120.5	121	121.5	122.5
Spesimen 7	97	120	121.5	121.5	123	121
Spesimen 8	99	121	120	122.5	121	118
Spesimen 9	97.5	121.5	121.5	121.5	123	121.5
Spesimen 10	96	121.5	120.5	122.5	122	121.5
RATA-RATA	97.25	120.65	120.7	121.85	122	120.85



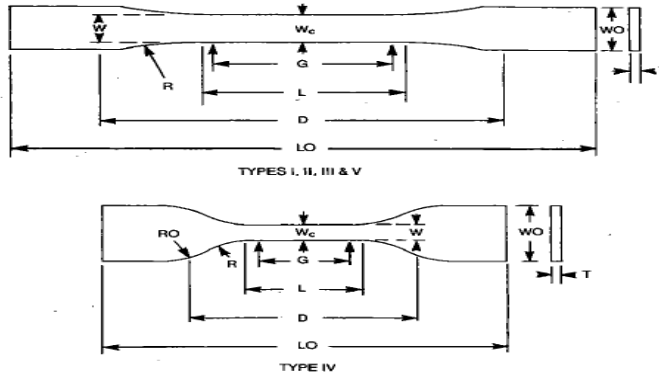


LAMPIRAN KALKULASI UJI TARIK CORE SANDWICH

Standard Pengujian : ASTM D638
 Hari/tanggal Pengujian :
 Lokasi Pengujian :
 Penguji :

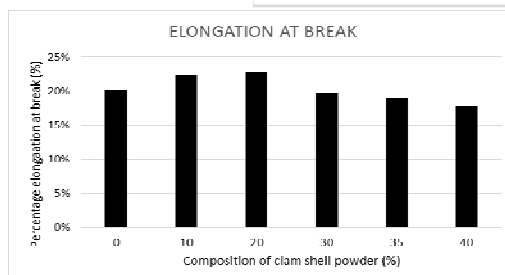
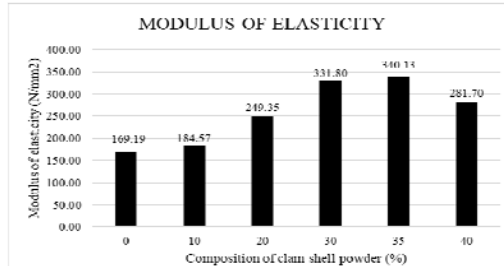
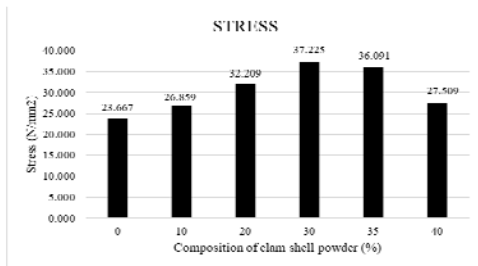
I. Uji Tarik

Pengujian tarik

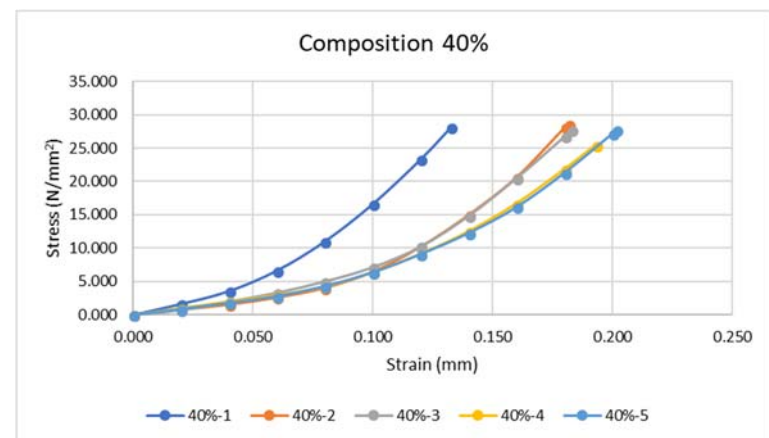
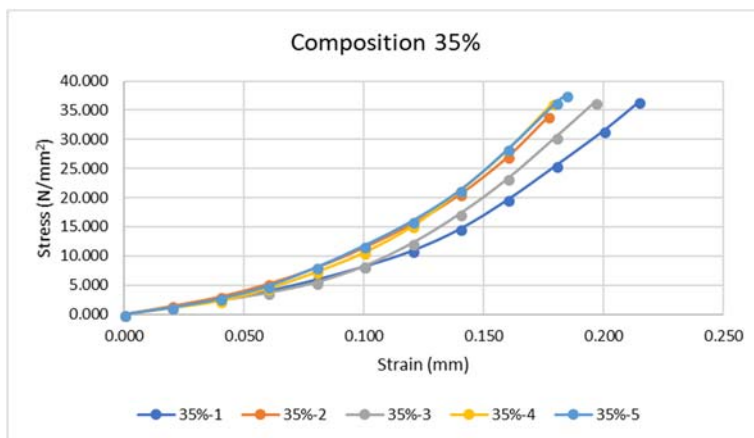
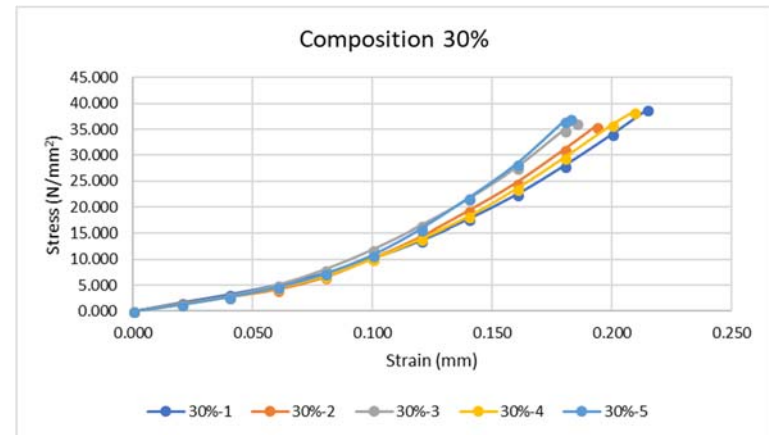
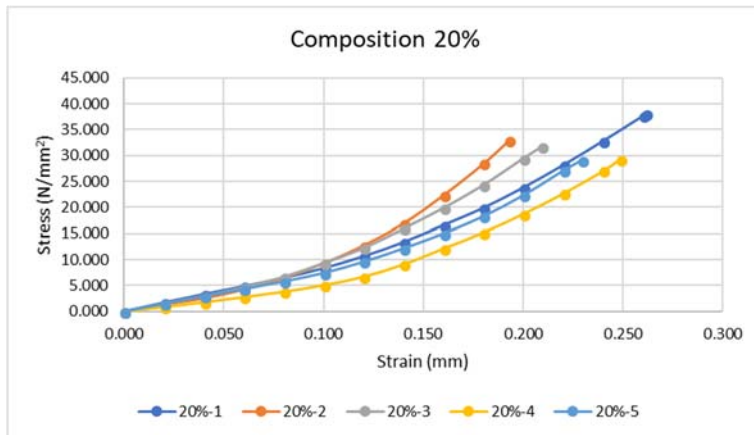
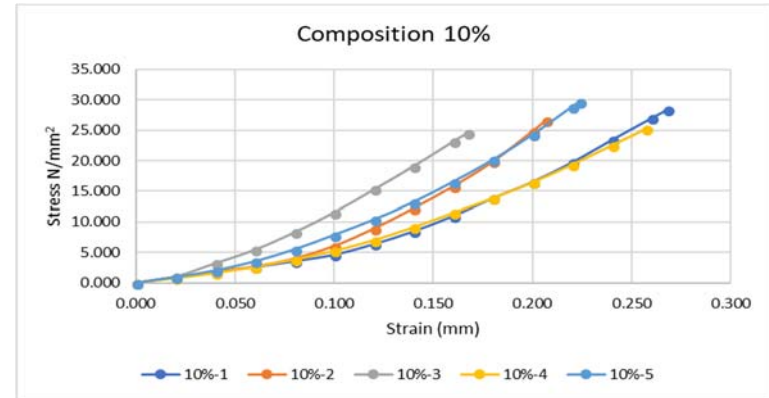
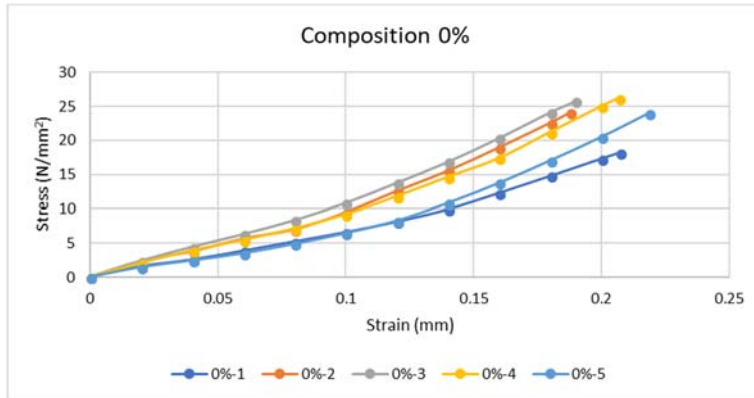


Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl		4 (0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^B	Type V ^{C,D}		
W—Width of narrow section ^{E,F}	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	±0.5 (±0.02) ^{B,C}	
L—Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	±0.5 (±0.02) ^C	
WO—Width overall, min ^G	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...	+ 6.4 (+ 0.25)	
WO—Width overall, min ^G	...	...	...	...	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
LO—Length overall, min ^H	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)	
G—Gage length ^I	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	±0.25 (±0.010) ^C	
G—Gage length ^I	...	...	...	25 (1.00)	...	±0.13 (±0.005)
D—Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) ^J	25.4 (1.0)	±5 (±0.2)	
R—Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	±1 (±0.04) ^C	
RO—Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	±1 (±0.04)

NO	Campuran	Stress (N/mm ²)	Modulus (N/mm ²)	Elongation
1	0	23.67	169.19	20%
2	10	26.86	184.57	22%
3	20	32.21	249.35	23%
4	30	37.23	331.80	20%
5	35	36.09	340.13	19%
6	40	27.51	281.70	18%



STRESS-STRAIN PENGUJIAN TARIK KERANG





LAMPIRAN
KALKULASI UJI KEKERASAN CORE SANDWICH

Standard Pengujian : ASTM D695
 Hari/tanggal Pengujian :
 Lokasi Pengujian :
 Penguji :

I. Uji Kekerasan/Hardess Test

Pengujian tekan/compressive testing menggunakan standard ASTM D695

Presentase 10%

No Spec	Force (KN)	Diameter (mm)	Area (mm ²)	Compressive (N/mm ²)
1	16	15.5	188.596	84.837
2	16	15.5	188.596	84.837
3	16	15.55	189.815	84.293
4	17	15.4	186.171	91.314
5	15	15.58	190.548	78.720
6	16	15.53	189.327	84.510
7	16	15.57	190.304	84.076
Average				84.655

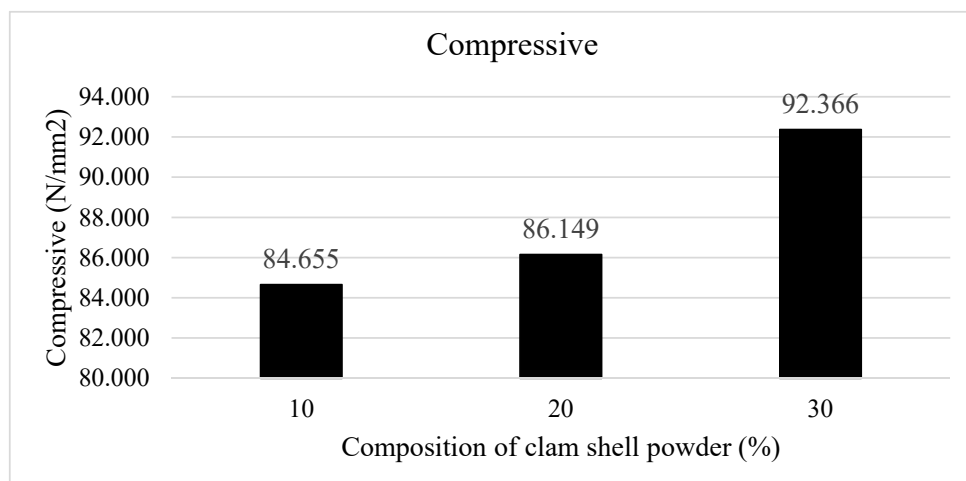
Presentase 20%

No Spec	Force (KN)	Diameter (mm)	Area (mm ²)	Compressive (N/mm ²)
1	16	15.55	189.815	84.293
2	16	15.55	189.815	84.293
3	17	15.59	190.793	89.102
4	16	15.3	183.761	87.070
5	16	15.5	188.596	84.837
6	16	15.28	183.281	87.298
Average				86.149

Presentase 30%

No Spec	Force (KN)	Diameter (mm)	Area (mm ²)	Compressive (N/mm ²)
1	17	15.38	185.687	91.552
2	17	15.37	185.446	91.671
3	18	15.64	192.019	93.741
4	17	15.35	184.964	91.910
5	17	15.48	188.110	90.373
6	18	15.54	189.571	94.951
Average				92.366

No	Presentase	Compressive
1	10	84.655
2	20	86.149
3	30	92.366





LAMPIRAN
KALKULASI UJI DENSITAS SANDWICH PLATE

Standard Pengujian : ISO 840
Hari/tanggal Pengujian :-
Lokasi Pengujian :-
Penguji :-

I. Uji Densitas

Uji densitas/massa jenis dilakukan pada tiap komposisi :

Komposisi 10%

Nama	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m3)	Massa (kg)	Massa Jenis (kg/m3)
Spesimen 1	0.21	0.0225	0.075	0.000354375	1.232	3476.54321
Spesimen 2	0.21	0.023	0.075	0.00036225	1.232	3400.966184
Spesimen 3	0.21	0.023	0.075	0.00036225	1.231	3398.205659
Spesimen 4	0.21	0.0223	0.075	0.000351225	1.2	3416.613282
Spesimen 5	0.21	0.023	0.075	0.00036225	1.23	3395.445135
					Rata-rata	3417.554694

Komposisi 20%

Nama	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m3)	Massa (kg)	Massa Jenis (kg/m3)
Spesimen 1	0.21	0.0228	0.075	0.0003591	1.26	3508.77193
Spesimen 2	0.21	0.0226	0.075	0.00035595	1.27	3567.916842
Spesimen 3	0.21	0.0225	0.075	0.000354375	1.25	3527.336861
Spesimen 4	0.21	0.0228	0.075	0.0003591	1.285	3578.39042
Spesimen 5	0.21	0.0224	0.075	0.0003528	1.27	3599.773243
					Rata-rata	3556.437859

Komposisi 30%

Nama	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m3)	Massa (kg)	Massa Jenis (kg/m3)
Spesimen 1	0.21	0.0225	0.075	0.000354375	1.275	3597.883598
Spesimen 2	0.21	0.0226	0.075	0.00035595	1.29	3624.104509
Spesimen 3	0.21	0.0225	0.075	0.000354375	1.278	3606.349206
Spesimen 4	0.21	0.0226	0.075	0.00035595	1.282	3601.629442
Spesimen 5	0.21	0.0224	0.075	0.0003528	1.279	3625.283447
					Rata-rata	3611.05004

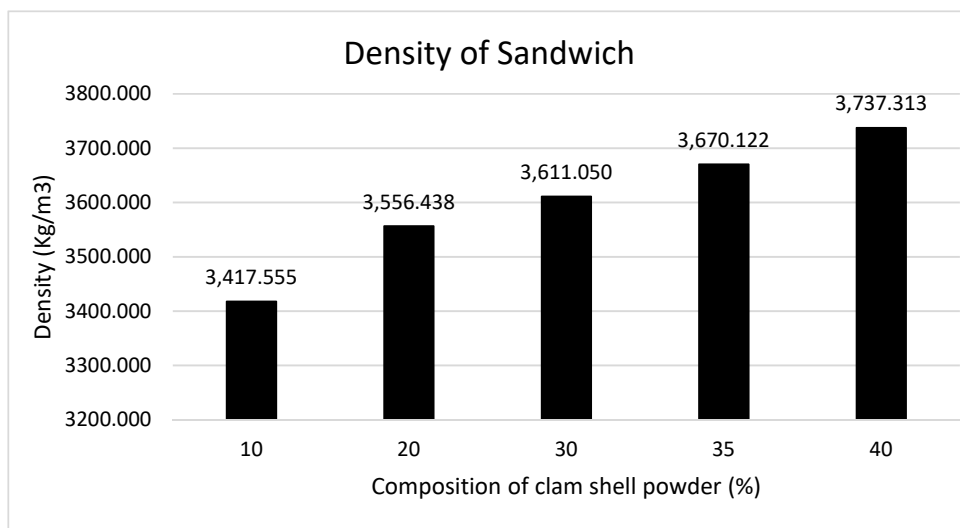
Komposisi 35%

Nama	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m3)	Massa (kg)	Massa Jenis (kg/m3)
Spesimen 1	0.2	0.0234	0.075	0.000351	1.287	3666.666667
Spesimen 2	0.21	0.0235	0.075	0.000370125	1.36	3674.434313
Spesimen 3	0.21	0.0228	0.075	0.0003591	1.32	3675.856307
Spesimen 4	0.21	0.022	0.075	0.0003465	1.27	3665.223665
Spesimen 5	0.21	0.0225	0.075	0.000354375	1.3	3668.430335
					Rata-rata	3670.122257

Komposisi 40%

Nama	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m3)	Massa (kg)	Massa Jenis (kg/m3)
Spesimen 1	0.2	0.0232	0.075	0.000348	1.295	3721.264368
Spesimen 2	0.21	0.0226	0.075	0.00035595	1.324	3719.623543
Spesimen 3	0.2	0.0225	0.075	0.0003375	1.257	3724.444444
Spesimen 4	0.21	0.0228	0.075	0.0003591	1.34	3731.5511
Spesimen 5	0.21	0.0224	0.075	0.0003528	1.337	3789.68254
					Rata-rata	3737.313199

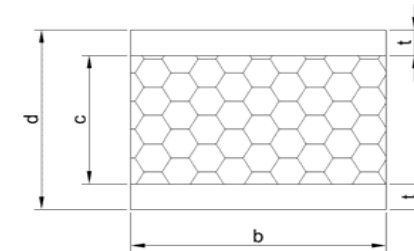
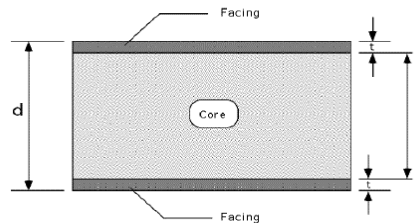
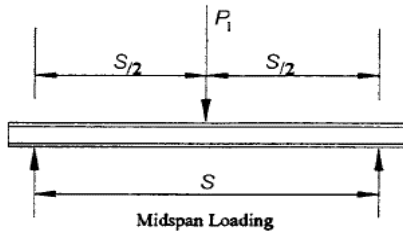
Persentase	Massa Jenis (kg/m3)
10	3417.555
20	3556.438
30	3611.050
35	3670.122
40	3737.313



**TABEL DATA HASIL
PENGUJIAN LENTUR SANDWICH PANEL**

Hari Pengujian : -
 Tanggal Pengujian : -
 Lokasi Pengujian : Laboratorium Material Koarmatim AL - Tanjung Perak, Surabaya
 Type Alat Uji : UTM

Standarisasi Dimensional : ASTM C 393-11
 Standarisasi Pengujian : ASTM C 393-11
 Di Uji Oleh : AZ TEAM



Flexure Test

Keterangan	Dimensional					P yield	P max	Fsult	Fsyield	σ
Spesimen	[b]	[t]	[c]	[d]	[S]			[P max/(d+c)b]	[P yield/(d+c)b]	[P max S/2t(d+c)b]
	(mm)	(mm)	(mm ²)	(mm)	(mm)			N	(N)	(MPa)
Core Material 20%										
Spesimen 1	75.00	4.00	15.00	23.00	162	7696.88	8890.63	3.12	2.70	63.17
Spesimen 2	75.00	4.00	15.00	23.00	162	2162.50	7625.00	2.68	0.76	54.18
Spesimen 3	75.00	4.00	15.00	23.00	162	1668.75	3612.50	1.27	0.59	25.67
Spesimen 4	75.00	4.00	15.00	23.00	162	5775.00	9478.13	3.33	2.03	67.34
Spesimen 5	75.00	4.00	15.00	23.00	162	5250.00	8803.13	3.09	1.84	62.55
Core Material 30%										
Spesimen 1	75.00	4.00	15.00	23.00	162	6940.63	8115.63	2.85	2.44	57.66
Spesimen 2	75.00	4.00	15.00	23.00	162	3312.50	8112.50	2.85	1.16	57.64
Spesimen 3	75.00	4.00	15.00	23.00	162	5609.38	8893.75	3.12	1.97	63.19
Spesimen 4	75.00	4.00	15.00	23.00	162	3928.13	10012.50	3.51	1.38	71.14
Spesimen 5	75.00	4.00	15.00	23.00	162	4200.00	7756.25	2.72	1.47	55.11

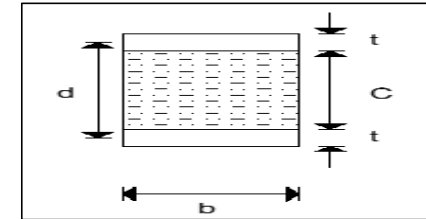
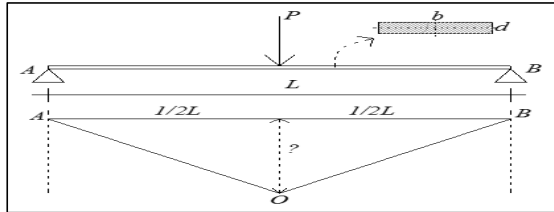
Material	Fsult (MPa)	Fsyield (MPa)	σ max (MPa)
Core material 20%	2.70	1.58	67.34
Core material 30%	3.01	1.68	71.14

**TABEL DATA HASIL
PENGUJIAN LENTUR SANDWICH PANEL**

Hari Pengujian : -
 Tanggal Pengujian : -
 Lokasi Pengujian : Laboratorium Material Koarmatim AL - Tanjung Perak, Surabaya
 Type Alat Uji : UTM

Standarisasi Dimensional : ASTM C 393-00
 Standarisasi Pengujian : ASTM C 393-00
 Di Uji Oleh : AZ TEAM

Dimensi Spesimen Sandwich Panel



Flexure Test

Keterangan	Dimensional					Facing Plate	P	τ	σ	D	Δ	$\tan \theta$	U	R	G
Spesimen	[b]	[t]	[c]	[d]	[L]	[E]		[P/(d+c)b]	[PL/2t(d+c)b]	[E(d ³ -c ³)b/12]		F/ Δ	[PL/4(F/tan θ -PL ³ /48D)]	[3PL/2bd ²]	[4c U/(d+c) ² b]
	(mm)	(mm)	(mm ²)	(mm)	(mm)	(Mpa)		(Mpa)	(Mpa)	(N-mm ²)	(mm)		(N)		(Mpa)

Core Material 20%

Spesimen 1	75.00	4.00	15.00	19.00	200	200000.00	7696.88	3.02	75.46	4355000000.00	3.66	2040.50	110667.02	56.86	76.59
Spesimen 2	75.00	4.00	15.00	19.00	200	200000.00	5250.00	2.06	51.47	4355000000.00	4.53	990.61	51482.23	38.78	35.63
Spesimen 3	75.00	4.00	15.00	19.00	200	200000.00	2162.50	0.85	21.20	4355000000.00	1.02	2067.40	112251.30	15.97	77.68
Spesimen 4	75.00	6.00	15.00	21.00	200	200000.00	12143.80	4.50	74.96	7357500000.00	2.14	6613.10	388916.23	73.43	240.07
Spesimen 5	75.00	6.00	15.00	21.00	200	200000.00	5021.88	1.86	31.00	7357500000.00	2.15	2051.00	107546.68	30.37	66.39

Core Material 30%

Spesimen 1	75.00	6.00	15.00	21.00	200	200000.00	6350.00	2.35	39.20	7357500000.00	1.95	3404.50	184449.94	38.40	113.86
Spesimen 2	75.00	6.00	15.00	21.00	200	200000.00	7690.63	2.85	47.47	7357500000.00	1.92	4012.20	220665.60	46.50	136.21
Spesimen 3	75.00	6.00	15.00	21.00	200	200000.00	5871.88	2.17	36.25	7357500000.00	1.57	4245.80	234880.45	35.51	144.99
Spesimen 4	75.00	6.00	15.00	21.00	200	200000.00	9596.88	3.55	59.24	7357500000.00	3.03	3166.50	170559.13	58.03	105.28
Spesimen 5	75.00	6.00	15.00	21.00	200	200000.00	8406.25	3.11	51.89	7357500000.00	3.20	4010.80	220580.91	50.83	136.16

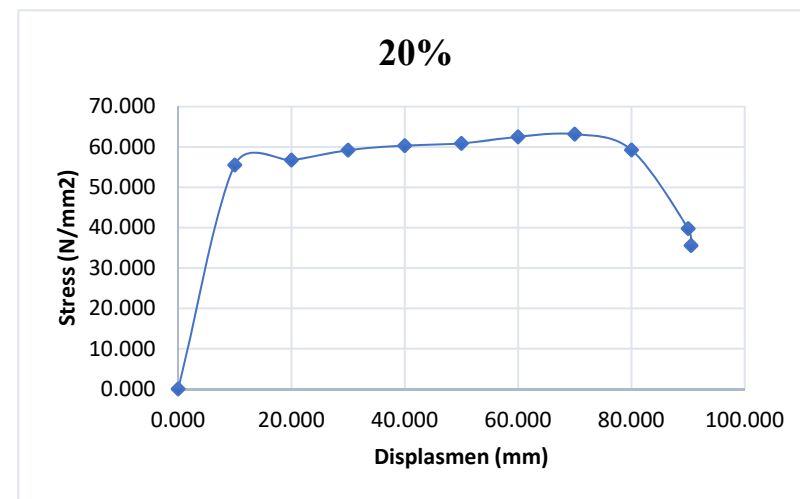
FACE PLATE 4 mm	G	E	ν (E/ 2. G) - 1
Core material 20%	99.27	249.35	0.26
Core material 30%	127.30	331.805	0.30

GRAFIK STRESS-DISPLASMEN UJI LENTUR

KOMPOSISI 20%

DISPLMN	FORCE ON GRAPH	SCALE	FORCE (P) (N)	[b] (mm)	[t] (mm)	[c] (mm)	[d] (mm)	[S] (mm)	σ [P S/2t(d+c)b]
0.000	0.000	219.161	0.000	75.000	4.000	15.000	23.000	162.000	0.000
10.000	35.660	219.161	7815.296	75.000	4.000	15.000	23.000	162.000	55.530
20.000	36.440	219.161	7986.242	75.000	4.000	15.000	23.000	162.000	56.744
30.000	38.020	219.161	8332.517	75.000	4.000	15.000	23.000	162.000	59.205
40.000	38.750	219.161	8492.504	75.000	4.000	15.000	23.000	162.000	60.341
50.000	39.100	219.161	8569.211	75.000	4.000	15.000	23.000	162.000	60.886
60.000	40.150	219.161	8799.330	75.000	4.000	15.000	23.000	162.000	62.522
70.000	40.570	219.161	8891.378	75.000	4.000	15.000	23.000	162.000	63.176
80.000	38.060	219.161	8341.283	75.000	4.000	15.000	23.000	162.000	59.267
90.000	25.530	219.161	5595.191	75.000	4.000	15.000	23.000	162.000	39.755
90.526	22.830	219.161	5003.455	75.000	4.000	15.000	23.000	162.000	35.551

SCALE 219.161
 Max Force 4996.88 N
 Force On Graph 22.8 N

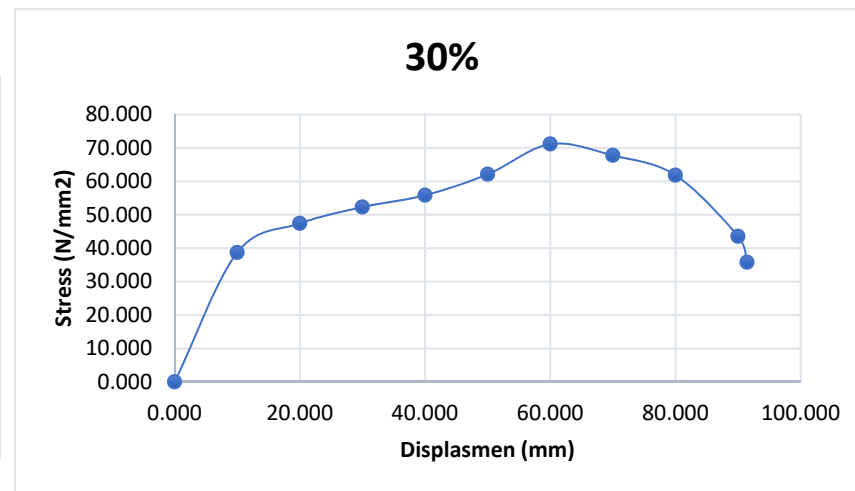
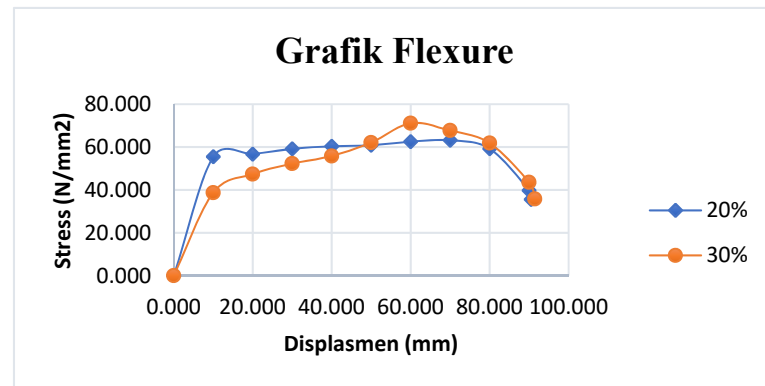


GRAFIK STRESS-DISPLASMEN UJI LENTUR

KOMPOSISI 30%

DISPLMN	FORCE ON GRAPH	SCALE	FORCE (P)	[b]	[t]	[c]	[d]	[S]	σ
			(N)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	[$P S/2t(d+c)b$]
0.000	0.000	244.408	0.000	75.000	4.000	15.000	23.000	162.000	0.000
10.000	22.290	244.408	5447.856	75.000	4.000	15.000	23.000	162.000	38.708
20.000	27.300	244.408	6672.340	75.000	4.000	15.000	23.000	162.000	47.409
30.000	30.120	244.408	7361.571	75.000	4.000	15.000	23.000	162.000	52.306
40.000	32.160	244.408	7860.163	75.000	4.000	15.000	23.000	162.000	55.849
50.000	35.770	244.408	8742.476	75.000	4.000	15.000	23.000	162.000	62.118
60.000	40.966	244.408	10012.420	75.000	4.000	15.000	23.000	162.000	71.141
70.000	39.010	244.408	9534.358	75.000	4.000	15.000	23.000	162.000	67.744
80.000	35.610	244.408	8703.371	75.000	4.000	15.000	23.000	162.000	61.840
90.000	25.070	244.408	6127.310	75.000	4.000	15.000	23.000	162.000	43.536
91.450	20.610	244.408	5037.250	75.000	4.000	15.000	23.000	162.000	35.791

SCALE 244.408
 Max Force 5037.25 N
 Force On Graph 20.61 N



HASIL PENGUJIAN GETARAN DAN NUMERIK

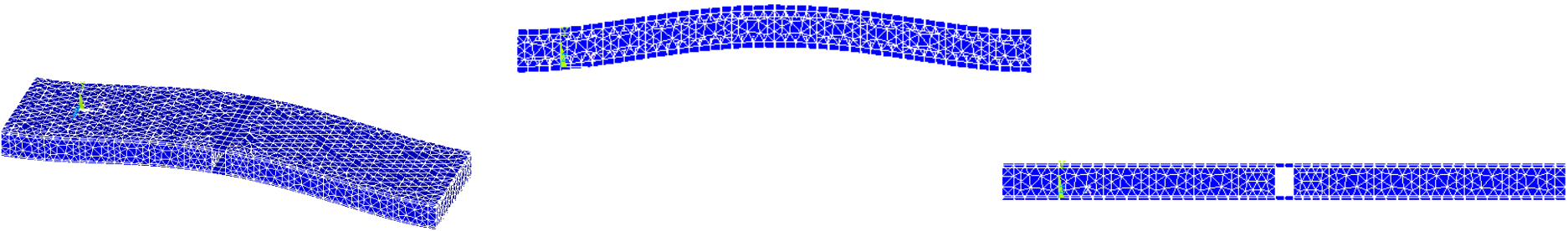
Clamshells penuh

PERSENTASE	20	30
ANSYS	552.8	564.71
EXPERIMENT	536.4	545.1
PERBEDAAN	3%	3%

Clamshells cacat

PERSENTASE	20	30
ANSYS	375.83	389.81
EXPERIMENT	365.71	371.62
PERBEDAAN	3%	5%

MATERIAL	Wr	Magnitude	$\text{mag}/\sqrt{2}$	ωa	ωb	$\omega b - \omega a/2$	(%)
20% UTUH	536.4	5.98E-12	4.23E-12	518.59	560.55	0.039	3.911
20% CACAT	365.71	4.37E-12	3.09E-12	355.09	372.15	0.023	2.332
30% UTUH	545.1	3.35E-12	2.37E-12	520.6	562.8	0.039	3.871
30% CACAT	371.62	2.59E-12	1.83E-12	359.3	389.13	0.040	4.014



LAMPIRAN PERHITUNGAN BEBAN KONSTRUKSI SISI

Diketahui : $L_{wl} = 71.00 \text{ m}$
 $L_{pp} = 69.20 \text{ m}$

Maka :
 $96\% L_{wl} = 68.16 \text{ m}$
 $97\% L_{wl} = 68.87 \text{ m}$

Sehingga :
 $L = 68.87 \text{ m}$

 $B = 17.2 \text{ m}$

 $T = 3.5 \text{ m}$

 $D = 4.9 \text{ m}$

 $C_b = 0.7 \text{ m}$

 $V = 12 \text{ knots}$

Basic External Dynamic Load

$$P_0 = 2,1 \cdot (C_B + 0,7) \cdot C_o \cdot C_L \cdot f \quad [\text{kN/m}^2]$$

$$C_0 = (L/25 + 4,1) \cdot C_{RW} \quad ; \quad L \leq 90\text{m}$$

$$= 6,17$$

$$C_L = (L/90)^{1/2} \quad L < 90\text{m}$$

$$= 0,874769811$$

$$C_{RW} = 0,9 \quad \text{Pelayaran samudra terbatas}$$

$$f = 1 \quad \text{Untuk pelat kulit, geladak cuaca}$$

$$f = 0,75 \quad \text{Untuk gading biasa, balok geladak}$$

$$f = 0,6 \quad \text{Untuk gading besar, senta, penumpu}$$

$$C_f = 1$$

$$Z = 3,5 \quad \text{m}$$

maka:

$$P_0 = 15.866401 \text{ kN/m}^2$$

Load on ship sides

$$P_s = 10 (T - Z) + P_o \times C_F \times (1 + Z / T)$$

$$P_s = 20.399658 \text{ kN/m}^2$$

Load with hydrostatic

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

$$\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$h = 2 \text{ m}$$

maka

$$P = 20110.5 \text{ N/m}^2$$

$$= 20.1105 \text{ kN/m}^2$$

Maka beban pada ujung bawah pelat adalah 20.399658 kN/m²

LAMPIRAN PERHITUNGAN BERAT KONSTRUKSI (KONVENSIONAL FRAME-SANDWICH KONVENSIONAL FRAME)

Panel Panjang 7.2 m Lebar 3.4 m										
ITEM		Jumlah	Ukur	Panjang (mm) / Luas (mm ²)	Profil /tebal (mm)					BERAT (TON)
lambung_konvensional										
	Pelat sisi	1	24.48	24480000.00	10					1.92
	Pembujur Sisi	5	7.20	7200	L 100x100x10	100	10	100	10	0.57
	Web Frame	3	3.40	3400	T 300x100x9	300	9	100	9	0.29
									TOTAL	2.78
Panel Panjang 7.2 m Lebar 3.4 m										
ITEM		Jumlah	Ukur	Panjang (mm) / Luas (mm ²)	Profil /tebal (mm)					BERAT (TON)
sandwich_20_konvensional										
	Pelat sisi	1	24.48	24480000.00	23					2.00
	Pembujur Sisi	5	7.20	7200	L 100x100x10	100	10	100	10	0.57
	Web Frame	3	3.40	3400	T 300x100x9	300	9	100	9	0.29
									TOTAL	2.86
Panel Panjang 7.2 m Lebar 3.4 m										
ITEM		Jumlah	Ukur	Panjang (mm) / Luas (mm ²)	Profil /tebal (mm)					BERAT
sandwich_30_konvensional										
	Pelat sisi	1	24.48	24480000.00	23					2.03
	Pembujur Sisi	5	7.20	7200	L 100x100x10	100	10	100	10	0.57
	Web Frame	3	3.40	3400	T 300x100x9	300	9	100	9	0.29
									TOTAL	2.89

Rekapitulasi	Berat Konstruksi (Ton)		Selisih %
	Konvensional	Sandwich	
Sandwich Core 20%	2.78	2.86	2.909%
Sandwich Core 30%	2.78	2.89	4.017%

PERHITUNGAN BERAT KONSTRUKSI SANDWICH REDESAIN DAN VON MISES STRESS (KOMPOSISI CORE 20%)

ITEM	Jumlah	Ukur	Panjang (mm) / Luas (mm ²)	Profil /tebal (mm)					BERAT (TON)	Stress Von Mises (Mpa)
KONSTRUKSI KONVENSIONAL										
Pelat sisi	1	24.48	24480000.00	10					1.92	120.3
Pembujur Sisi	5	7.20	7200	L 100x100x10	100	10	100	10	0.57	
Web Frame	3	3.40	3400	T 300x100x9	300	9	100	9	0.29	
TOTAL								2.78		
KONSTRUKSI A										
Pelat sisi	1	24.48	24480000.00	23					2.00	53.309
Pembujur Sisi	6	7.20	7200	L 100x100x10	100	10	100	10	0.68	
Web Frame	3	3.40	3400	T 300x100x9	300	9	100	9	0.29	
TOTAL								2.97		
KONSTRUKSI B										
Pelat sisi	1	24.48	24480000.00	23					2.00	56.201
Pembujur Sisi	6	7.20	7200	L 100x100x8	100	8	100	8	0.54	
Web Frame	3	3.40	3400	T 300x100x8	300	8	100	8	0.26	
TOTAL								2.80		
KONSTRUKSI C										
Pelat sisi	1	24.48	24480000.00	23					2.00	60.981
Pembujur Sisi	6	7.20	7200	L 100x100x10	100	10	100	10	0.68	
Web Frame	1	3.40	3400	T 300x100x9	300	9	100	9	0.10	
TOTAL								2.78		
KONSTRUKSI D										
Pelat sisi	1	24.48	24480000.00	23					2.00	63.269
Pembujur Sisi	6	7.20	7200	L 100x100x8	100	8	100	8	0.54	
Web Frame	1	3.40	3400	T 300x100x8	300	8	100	8	0.09	
TOTAL								2.63		
KONSTRUKSI E										
Pelat sisi	1	24.48	24480000.00	23					2.00	86.142
Pembujur Sisi	6	7.20	7200	L 100x100x6	100	6	100	6	0.41	
Web Frame	1	3.40	3400	T 300x100x6	300	6	100	6	0.06	
TOTAL								2.47		

KONSTRUKSI	Konvensional	Sandwich	Selisih	Von Mises Stress (Mpa)
A	2.78	2.97	6.982%	53.309
B	2.78	2.80	0.940%	56.201
C	2.78	2.78	0.057%	60.981
D	2.78	2.63	-5.215%	63.269
E	2.78	2.47	-10.873%	86.142

KONSTRUKSI	JARAK ANTAR PEMBUJUR (mm)	JARAK ANTAR WEB FRAME (mm)	UKURAN PROFIL	
			PEMBUJUR (mm)	WEB FRAME (mm)
A	500	1800	L 100x100x10	T 300x100x9
B	500	1800	L 100x100x8	T 300x100x8
C	500	3600	L 100x100x10	T 300x100x9
D	500	3600	L 100x100x8	T 300x100x8
E	500	3600	L 100x100x6	T 300x100x6

PERHITUNGAN BERAT KONSTRUKSI SANDWICH REDESAIN DAN VON MISES STRESS (KOMPOSISI CORE 30%)

ITEM	Jumlah	Ukur	Panjang (mm) / Luas (mm ²)	Profil /tebal (mm)					BERAT (TON)	Stress Von Mises (Mpa)
KONSTRUKSI KONVENSIONAL										120.3
Pelat sisi	1	24.48	24480000.00	10					1.92	
Pembujur Sisi	5	7.20	7200	L 100x100x10	100	10	100	10	0.57	
Web Frame	3	3.40	3400	T 300x100x9	300	9	100	9	0.29	
								TOTAL	2.78	
KONSTRUKSI A										52.104
Pelat sisi	1	24.48	24480000.00	23					2.03	
Pembujur Sisi	6	7.20	7200	L 100x100x10	100	10	100	10	0.68	
Web Frame	3	3.40	3400	T 300x100x9	300	9	100	9	0.29	
								TOTAL	3.00	
KONSTRUKSI B										55.808
Pelat sisi	1	24.48	24480000.00	23					2.03	
Pembujur Sisi	6	7.20	7200	L 100x100x8	100	8	100	8	0.54	
Web Frame	3	3.40	3400	T 300x100x8	300	8	100	8	0.26	
								TOTAL	2.83	
KONSTRUKSI C										59.889
Pelat sisi	1	24.48	24480000.00	23					2.03	
Pembujur Sisi	6	7.20	7200	L 100x100x10	100	10	100	10	0.68	
Web Frame	1	3.40	3400	T 300x100x9	300	9	100	9	0.10	
								TOTAL	2.81	
KONSTRUKSI D										62.685
Pelat sisi	1	24.48	24480000.00	23					2.03	
Pembujur Sisi	6	7.20	7200	L 100x100x8	100	8	100	8	0.54	
Web Frame	1	3.40	3400	T 300x100x8	300	8	100	8	0.09	
								TOTAL	2.66	
KONSTRUKSI E										83.354
Pelat sisi	1	24.48	24480000.00	23					2.03	
Pembujur Sisi	6	7.20	7200	L 100x100x6	100	6	100	6	0.41	
Web Frame	1	3.40	3400	T 300x100x6	300	6	100	6	0.06	
								TOTAL	2.50	

KONSTRUKSI	Konvensional	Sandwich	Selisih	Von Mises Stress (Mpa)
A	2.78	3.00	8.090%	52.104
B	2.78	2.83	2.048%	55.808
C	2.78	2.81	1.165%	59.889
D	2.78	2.66	-4.108%	62.685
E	2.78	2.50	-9.765%	83.354

KONSTRUKSI	JARAK ANTAR PEMBUJUR (mm)	JARAK ANTAR WEB FRAME (mm)	UKURAN PROFIL	
			PEMBUJUR (mm)	WEB FRAME (mm)
A	500	1800	L 100x100x10	T 300x100x9
B	500	1800	L 100x100x8	T 300x100x8
C	500	3600	L 100x100x10	T 300x100x9
D	500	3600	L 100x100x8	T 300x100x8
E	500	3600	L 100x100x6	T 300x100x6

HASIL RUNNING NUMERIK

Konstruksi Konvensional						Stress Von Mises (MPa)
	S1	S2	S3	SINT	SEQV	
NODE	789	1089	2	454	454	
VALUE	4.87E+07	8.65E+06	0	1.28E+08	1.20E+08	120.30
Konstruksi Sandwich 20%-FRAME KONVENSIONAL						Stress Von Mises (MPa)
	S1	S2	S3	SINT	SEQV	
NODE	1705	3193	16321	69910	1363	
VALUE	7.06E+07	1.51E+07	992700	9.09E+07	8.53E+07	85.29
Konstruksi Sandwich 30%-FRAME KONVENSIONAL						Stress Von Mises (MPa)
	S1	S2	S3	SINT	SEQV	
NODE	9171	1771	2062	7575	7573	
VALUE	3.59E+07	7.53E+06	1.37E+06	9.22E+07	8.48E+07	84.82

REKAPITULASI

SISTEM KONSTRUKSI	STRESS (Mpa)	TEGANGAN IZIN (Mpa)	KONDISI
KONVENSIONAL	120.30	235.00	memenuhi
Konstruksi Sandwich 20%-FRAME KONVENSIONAL	85.29	67.34	tidak
Konstruksi Sandwich 30%-FRAME KONVENSIONAL	84.82	71.14	tidak

REKAPITULASI KONSTRUKSI REDESAIN

SISTEM KONSTRUKSI	SANDWICH 20%				SANDWICH 30%			
	BERAT (TON)	BERAT (TON)	SELISIH (%)	VON MISES STRESS (MPa)	BERAT (TON)	BERAT (TON)	SELISIH (%)	VON MISES STRESS (MPa)
KONVENSIONAL	2.775	2.775	0.000%	120.3	2.775	2.775	0.000%	120.3
A	2.775	2.969	6.982%	53.309	2.775	3.000	8.090%	52.104
B	2.775	2.801	0.940%	56.201	2.775	2.832	2.048%	55.808
C	2.775	2.777	0.057%	60.981	2.775	2.807	1.165%	59.889
D	2.775	2.630	-5.215%	63.269	2.775	2.661	-4.108%	62.685
E	2.775	2.473	-10.873%	86.142	2.775	2.504	-9.765%	83.354

SISTEM KONSTRUKSI	SANDWICH 20% Von Mises (Mpa)	Tegangan Izin (MPa)	KET	SANDWICH 30% Von Mises (Mpa)	Tegangan Izin (MPa)	KET
KONVENSIONAL	120.3	235	memenuhi	120.3	235	memenuhi
A	53.309	67.345	memenuhi	52.104	71.141	memenuhi
B	56.201	67.345	memenuhi	55.808	71.141	memenuhi
C	60.981	67.345	memenuhi	59.889	71.141	memenuhi
D	63.269	67.345	memenuhi	62.685	71.141	memenuhi
E	86.142	67.345	tidak	83.354	71.141	tidak

BIOGRAFI PENULIS



Kharis Abdullah, lahir di Kota Semarang Jawa Tengah, 30 Desember 1992. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan H. Warso dan Poniwati. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Sambiroto 02 Kota Semarang, SMPN 9 Kota Semarang, SMAN 1 Kota Semarang dan lulus pada tahun 2011, penulis melanjutkan pendidikan tahap strata satu di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Jurusan Teknik Perkapalan.

Pada tahap S-1 di Teknik Perkapalan ITS, penulis mengambil bidang studi Rekayasa Perkapalan bidang keahlian Konstruksi dan Kekuatan Kapal dan lulus pada tahun 2015 dengan karya tugas akhir yang berjudul “Analisa Desain *Graving Dock Gate* dengan Variasi Jarak Gading untuk *Graving Dock* Panjang 150 M, Lebar 27 M dan Tinggi 8 M”. Setelah lulus tahap S-1, penulis bergabung dengan PT. Karaz Manajemen sebagai *Owner Surveyor* (OS), dan pada tahun 2016 penulis melanjutkan pendidikan ke tahap strata dua di Program Studi Pasca Sarjana Teknologi Kelautan ITS dengan mengambil prodi Teknik Produksi dan Material Kelautan dengan karya tesis yang berjudul “Pengembangan dan Uji Dinamis *Sandwich Panel* Berbahan *Core Material* Limbah Cangkang Kerang pada Konstruksi Kapal”.

Email : abdullah.kharis@gmail.com